

# PROSIDING

## Seminar NASIONAL



PENGELOLAAN SUMBERDAYA ALAM DAN LINGKUNGAN

2013

**Optimasi Pengelolaan Sumber Daya Alam  
dan Lingkungan dalam Mewujudkan  
Pembangunan Berkelanjutan**

*Semarang, 10 September 2013*

Himpunan Mahasiswa  
Magister & Doktor Ilmu Lingkungan UNDIP  
Bekerjasama dengan:



Program Studi Magister & Doktor  
Ilmu Lingkungan UNDIP



Program Studi Ilmu Lingkungan  
UNRI



Program Studi Magister Ilmu  
Lingkungan UNPAD

# **PROSIDING**

## **Seminar Nasional Pengelolaan Sumberdaya dan Lingkungan 2013**

**“Optimasi Pengelolaan Sumberdaya Alam dan Lingkungan dalam Mewujudkan Pembangunan Berkelanjutan”.**

### **Editor:**

**Prof. Dr. Sudharto P. Hadi, MES**

**Prof. Dr. Ir. Purwanto, DEA**

**Dr. Henna Rya Sunoko, MES**

**Dr. Hartuti Purnaweni, MPA**

### **Penyunting:**

**Ferdianto Budi Samudra; Maria P. Widianti**

**Mukhlisi, Silvia Lucyanti, Suksesi Wicahyani**

### **Layout Design:**

**Bazar Ristyawan**

**I Putu Garjita**

**Program Studi Ilmu Lingkungan Program Pasca Sarjana Universitas Diponegoro (UNDIP)**

**Program Studi Ilmu Lingkungan Universitas Riau (UNRI)**

**Program Studi Magister Ilmu Lingkungan Universitas Padjadjaran (UNPAD)**

### **Diterbitkan oleh:**

**Program Studi Ilmu Lingkungan**

**Program Pasca Sarjana Universitas Diponegoro, Semarang, Indonesia**

**Jl. Imam Bardjo, SH No. 5 Semarang 50241 Telp/Fax. (024)8453635, 8452770**

**Email: [mil\\_undip@yahoo.com](mailto:mil_undip@yahoo.com)**

**ISBN 978-602-17001-1-2**



**9 786021 700112**

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL.....	i
KATA PENGANTAR.....	ii
DAFTAR ISI.....	iii
LAPORAN KETUA PANITIA.....	viii
SAMBUTAN REKTOR UNIVERSITAS DIPONEGORO.....	ix
KEYNOTE SPEAKER: MENTERI KELAUTAN DAN PERIKANAN.....	xi

SUB TEMA:

<b>I. Kebijakan Pengelolaan SDA dan Lingkungan .....</b>	<b>1</b>
1. SVLK; Salah Satu Jenis <i>Eco Label</i> Untuk Mengontrol Pergerakan Kayu pada Industri Furnitur di Jepara <i>Ahmad Subulas Salam, Purwanto, dan Suherman.....</i>	1
2. Peranan Implementasi Kebijakan Karantina Ikan dalam Pembangunan Perikanan Berkelanjutan <i>Bazar Ristiyawan, Sutrisno Anggoro, Bambang Yulianto.....</i>	6
3. Pengelolaan Cendana di Desa Asumanu, Kecamatan Raihat, Kabupaten Belu, Propinsi Nusa Tenggara Timur (NTT) <i>Maria P. Widiyanti, Hartuti Purnaweni, Tri R. Soeprbowati.....</i>	13
4. Tingkat Penerapan Sistem Pertanian Berkelanjutan pada Budidaya Padi Sawah (Studi Kasus Di Kecamatan Ambal Kabupaten Kebumen) <i>Istiantoro, Azis Nur Bambang, Tri Retnaningsih Soeprbowati.....</i>	19
5. Kondisi Sosial Ekonomi Masyarakat Sub Das Padas: Ditinjau dalam Pengelolaan DAS (Studi Kasus di Sub DAS Padas, Kabupaten Sragen) <i>Nur Aimun Jariyah.....</i>	26
6. Perencanaan Pertanian Berkelanjutan di Kecamatan Selo <i>Sasongko Putra, Purwanto, Kismartini.....</i>	33
7. Kebijakan Pengelolaan Wilayah Pesisir Secara Terpadu di Kabupaten Rembang Propinsi Jawa Tengah <i>Kismartini.....</i>	41
8. Kajian Pemanfaatan dan Daya Dukung Perairan Danau Teluk Kota Jambi untuk Budidaya Ikan Sistem Karamba Jaring Apung (KJA) <i>Kristianto, J.D., Sunardi, Iskandar.....</i>	48
9. Pengelolaan Sumberdaya Alam dan Lingkungan dalam Pandangan Masyarakat Samin <i>Jumari, Dede Setiadi, Y. Purwanto, Edi Guhardja.....</i>	64
<b>II. Sanitasi dan Kesehatan Lingkungan .....</b>	<b>70</b>
1. Aspek Kualitas Bakteriologi dan Hygiene Sanitasi Fisik Depot Air Minum Isi Ulang (Damiu) di Kecamatan Cimareme Kabupaten Bandung Barat <i>Ari Khoeriyah, Henna Rya Sunoko, Anies.....</i>	70
2. Hubungan Pengetahuan Karyawan tentang Lingkungan dengan Motivasi Karyawan dalam Pengelolaan Lingkungan di Rumah Sakit Siti Asiyah Bumiayu <i>Faisal Amri, Azis Nur Bambang, Azrul Azwar, Henna Rya Sunoko.....</i>	76
3. Upaya Pengelolaan Lingkungan Usaha Peternakan Sapi di Kawasan Usaha Tani Terpadu Bangka Botanical Garden Pangkalpinang <i>Fianda Revina Widyastuti, Purwanto, Hadiyanto.....</i>	80
4. Kajian Pengelolaan Sampah Perkotaan di Tempat Pembuangan Akhir: Studi Kasus TPA Hutan Panjang Banjarbaru Kalimantan Selatan <i>Pranatasari Dyah Susanti.....</i>	85
5. Kajian <i>Water Borne Disease</i> Oleh Bakteri Secara Spasial Di Kecamatan Kampung Laut Kabupaten Cilacap <i>Rissa Nurohmah, A. Haris Budi Widodo, Agatha Sih Piranti.....</i>	91
6. Pengelolaan Air Limbah Domestik Komunal Berbasis Masyarakat di Kota Probolinggo <i>Yusdi Vari Afandi, Henna Rya Sunoko, Kismartini.....</i>	96
7. Kualitas Udara dalam Ruangan di Laboratorium <i>Quality Control (Qc)</i> Divisi Concentrating PT Freeport Indonesia <i>Arif Susanto, David Suryanegara, Edi Putro.....</i>	102

	<i>Lebrina Ivantry Boikh, Supriharyono, Ign Boedi Hendrarto</i> .....	368
11.	Pengaruh Penerapan Wanamina di Kota Semarang terhadap Kualitas Lingkungan Tambak dan Pertumbuhan Udang <i>Rini Budihastuti</i> .....	374
12.	Potensi Lestari Sumberdaya Ikan Demersal (Analisis Hasil Tangkapan Cantrang yang Didaratkan di TPI Wedung Demak) <i>Rochmah Tri Cahyani, Sutrisno Anggoro, Bambang Yulianto</i> .....	378
13.	Indeks Keberlanjutan Ekologi Budidaya Udang Vaname ( <i>Litopenaeus Vanname</i> ) di Beberapa Desa Kawasan Minapolitan Kecamatan Pantai Cermin Kabupaten Serdang Bedagai <i>Sri Wahyuni Sitorus, Sutrisno Anggoro, Bambang Yulianto</i> .....	384
14.	Pengelolaan Lingkungan Perairan Sui Bakau Besar Laut Akibat Pengaruh <i>Leachate</i> terhadap Saprobitas Perairan (Model Prakiraan Sebaran Dampak Lingkungan Terjauh Berdasarkan Pasang Surut & Arus dengan Formula Wolinsky, 2005 ) <i>Wartiniyati, Budi Hendrarto, Henna Rya Sumoko, Sutrisno Anggoro</i> .....	390
15.	Kondisi Intrusi Air Laut terhadap Air Tanah pada Akuifer di Kota Semarang <i>Edy Suhartono, Purwanto, Suripin</i> .....	396
<b>VII.</b>	<b>Pengelolaan Tata Ruang Berwawasan Lingkungan dan <i>Green Building</i></b> .....	<b>402</b>
1.	Perencanaan & Perancangan Kota Postmodern Berdasarkan Kearifan Lokal Menuju Kota-Hijau Berkelanjutan <i>A. Rudyanto Soesilo</i> .....	402
2.	Analisis terhadap Kendala Utama serta Perubahan yang Dimungkinkan dari Pengelolaan Lingkungan di Kawasan Ziarah Umat Katholik Gua Maria Kerep Ambarawa <i>Ari Wibowo, Boedi Hendrarto, Agus Hadiyanto</i> .....	409
3.	Pengembangan Hutan Rakyat: Upaya Mewujudkan Tata Ruang Berwawasan Lingkungan <i>Nana Haryanti</i> .....	415
4.	Kajian <i>Green Building</i> Berdasarkan Kriteria Tepat Guna Lahan ( <i>Appropriate Site Development</i> ) pada Gedung Pascasarjana B Universitas Diponegoro Semarang <i>Rahayu Indah Komalasari, Purwanto, Suharyanto</i> .....	422
5.	Kajian Perencanaan Ruang Terbuka Hijau Pemukiman di Kampung Brambangan dan Perumahan Sambak Indah, Purwodadi <i>Yakub Prihatiningsih, Imam Buchori, Hadiyanto</i> .....	427
6.	Kajian Emisi Co <sub>2</sub> Berdasarkan Penggunaan Energi Rumah Tangga sebagai Penyebab Pemanasan Global (Study Kasus Perumahan Sebantengan, Gedang Asri, Susukan RW 07. Kab. Semarang) <i>Mira Tri Wulandari, Hermawan, Purwanto</i> .....	432
<b>VIII.</b>	<b>Pengendalian Pencemaran dan Perusakan Lingkungan</b> .....	<b>439</b>
1.	Upaya Penanggulangan Pencemaran Lingkungan Teluk Ambon dalam Rangka Pengelolaan Lingkungan Pesisir <i>Adi Mulyanto</i> .....	439
2.	Hubungan Koefisien Biokinetik pada Proses Lumpur Aktif <i>Completely Mixed</i> Menggunakan atau Tanpa Resirkulasi <i>Allen Kurniawan dan Yanuar Chandra Wirasembada</i> .....	445
3.	Konsep Keseimbangan Massa dan Aliran Hidrolik Model <i>Completely Mixed</i> pada Unit Pengolahan Air Limbah Industri <i>Allen Kurniawan</i> .....	452
4.	Kualitas Air Sungai Jiglong di Kabupaten Pati Jawa Tengah <i>Arieyanti Dwi Astuti</i> .....	460
5.	Efisiensi Pengolahan Amonium Berkonsentrasi Tinggi dalam Lindi pada Sistem Evapotranspirasi Anaerobik secara Kontinyu <i>Badrus Zaman, Purwanto, Sarwoko Mangkoedihardjo</i> .....	466
6.	Logam Berat Timbal (Pb) pada Ikan Belanak di Perairan Segara Anakan Cilacap <i>Cahyadi, Moh. Husein Sastranegara, Agung Dhamar Syakti</i> .....	471
7.	Potensi Keberadaan Polutan Kloroanilin di Sungai Citarum Akibat Biotransformasi Pewarna Azo dari Air Limbah Tekstil <i>Edward Suhendra, Purwanto, Edwan Kardena</i> .....	475
8.	Pengolahan Limbah Cair Industri Kerupuk dengan Sistem <i>Subsurface Flow Constructed Wetland</i> Menggunakan Tanaman <i>Typha Angustifolia</i> Studi Kasus Limbah Cair Sentra Industri Kerupuk Desa Kenanga Kecamatan Sindang Kabupaten Indramayu Jawa Barat	

## Konsep Kesetimbangan Massa dan Aliran Hidrolik Model *Completely Mixed* pada Unit Pengolahan Air Limbah Industri Allen Kurniawan

Staf Pengajar Program Studi Teknik Sipil dan Lingkungan, Program Sarjana Institut Pertanian Bogor, Bogor, Indonesia  
Email: allen.kurniawan@gmail.com

### ABSTRAK

Penggunaan kesetimbangan massa (*massbalance*) pada pengolahan air limbah untuk mengetahui konsentrasi substansi yang mengalami perubahan pada setiap unit pengolahan. Pada model reaktor *Completely Mixed*, nilai perpindahan substansi di dalam reaktor harus seimbang dengan jumlah sisa produksi yang dihasilkan oleh proses fisik dan kimiawi. Tujuan dari penelitian ini adalah mengetahui substansi secara detail berupa jumlah debit, padatan, dan substrat yang masuk dan keluar dari setiap unit pengolahan air limbah. Pengambilan contoh air limbah dilakukan salah satu industri di Jakarta pada 5 titik sumber dengan sistem tercampur. Dari hasil pengukuran karakteristik fisik dan kimiawi air limbah, dua parameter yaitu *Biochemical Oxygen Demand* (BOD) sebesar 661 mg/L, *Total Suspended Solid* (TSS) sebesar 342 mg/L, serta debit sebesar 0,12 m<sup>3</sup>/detik digunakan sebagai data awal untuk analisis kesetimbangan massa. Unit pengolahan yang akan dirancang adalah *bar screen*, *gritchamber*, sedimentasi primer, lumpur aktif, sedimentasi sekunder, desinfeksi, serta unit pengolahan lumpur (*thickener*, *digester anaerobik*, sentrifugasi). Pada diagram alir kesetimbangan massa, supernatan dan lumpur diperhitungkan dengan memperhatikan aliran pada setiap unit operasi dan proses, tanpa mengacu pada waktu detensi. Dari analisis tersebut, debit aliran bawah (*underflow*) pada unit pengolahan lebih kecil dibandingkan aliran utama (*main liquid stream*), sedangkan konsentrasi TSS meningkat ketika memasuki unit pengolahan lumpur. Pengulangan (iterasi) perhitungan dibutuhkan untuk mendapatkan akurasi nilai variabel terbaik. Data yang diperoleh sangat berguna sebagai acuan dasar dalam merancang unit pengolahan air limbah.

**Kata kunci:** *completely mix*, kesetimbangan massa, lumpur aktif.

### 1. PENDAHULUAN

Hingga kini, masalah limbah cair di Indonesia terhadap limbah domestik maupun limbah industri selalu menjadi masalah serius. Air limbah pada umumnya langsung dibuang ke badan air penerima, tanpa adanya pengolahan (*treatment*) terlebih dahulu. Hal tersebut mengancam kelestarian lingkungan, karena kemampuan *self purification* lingkungan yang terbatas.

Upaya pengolahan air limbah yang tepat dan optimal dapat mengatasi masalah tersebut. Dengan adanya instalasi pengolahan, air limbah diharapkan dapat memenuhi persyaratan batas baku mutu yang ditetapkan oleh pemerintah ketika dibuang ke lingkungan. Alternatif unit pengolahan pada air limbah diperlukan untuk menganalisis reduksi bahan-bahan organik hasil penguraian biologis dan organisme patogen, sehingga Instalasi Pengolahan Air Limbah (IPAL) perlu direncanakan untuk menjalankan fungsi-fungsi tersebut. Dalam pemilihan alternatif pengolahan, jenis pencemar tertentu dapat menyebabkan permasalahan berbeda-beda, sehingga pemilihan unit operasi dan unit proses perlu dilakukan dengan cermat dalam mereduksi pencemar spesifik tersebut. **Unit operasi** adalah unit yang berhubungan dengan transformasi secara fisika, sedangkan **unit proses** adalah unit yang berhubungan dengan transformasi secara kimiawi.

Salah satu industri terkemuka di Jakarta yang memproduksi bahan kosmetik, sampo, sabun cuci piring dan *lotion* berencana untuk membuat IPAL guna mengimplementasikan upaya-upaya yang sistematis dalam memperbaiki kualitas efluen, melakukan identifikasi dan karakterisasi air limbah, mengatur sistem pengaliran air limbah serta membuat rancangan instalasi pengolahan air limbah. Aspek ekonomi, teknis, keamanan, kehandalan dan kemudahan pengoperasian perlu dipertimbangkan secara detail, setelah kontaminan diketahui karakteristiknya. Teknologi terpilih merupakan teknologi tepat guna sesuai dengan karakteristik limbah yang diolah dan nilai efisiensi *removal* kontaminan. Berdasarkan karakteristik limbah yang diperoleh, unit pengolahan direncanakan berupa *screen*, *gritchamber*, sedimentasi primer, *activated sludge* (pengolahan biologis), desinfeksi, dan unit pengolahan lumpur.

Tujuan dari penelitian ini adalah membuat kesetimbangan massa (*massbalances*) dan aliran hidrolik (*hydraulic flow regimes*) untuk estimasi aliran debit, konsentrasi substrat dan padatan pada setiap influen dan efluen unit pengolahan. Dengan demikian, proses transformasi atau reduksi kontaminan pada air limbah dapat diperkirakan, sebelum unit pengolahan dirancang.

## 2. METODOLOGI

Penelitian dilakukan di sebuah industri yang memproduksi bahan kosmetik, shampo, sabun cuci piring dan *lotion* di Jakarta dari bulan Maret hingga Juli 2013. Hasil akhir dari penelitian ini berupa perencanaan rancangan unit IPAL skala industri, sehingga topik ini merupakan bagian dari penelitian dalam skala yang lebih besar. Komponen yang diamati adalah air limbah yang keluar dari hasil produksi ataupun pencucian alat-alat produksi.

Penelitian diawali dengan penentuan debit puncak air limbah, serta pengambilan contoh (*sample*) air limbah pada lima titik inlet saluran air limbah untuk dicampur menjadi satu guna mengetahui karakteristik kimia, fisika dan biologi. Dalam kesetimbangan massa, parameter terpilih adalah *Biochemical Oxygen Demand* (BOD) sebagai nilai konsentrasi substrat dan *Total Suspended Solid* (TSS) sebagai nilai konsentrasi padatan.

Langkah selanjutnya adalah membuat diagram alir kesetimbangan massa untuk menentukan debit aliran, konsentrasi substrat dan konsentrasi padatan. Terjadinya perubahan reaksi zat pada aliran kesetimbangan tersebut kemungkinan diakibatkan oleh produksi atau destruksi oleh bahan kimia, biokimia, atau fenomena fisik (Droste, 1997). Pernyataan tersebut digambarkan melalui persamaan umum:

$$\text{masuk} - \text{keluar} + \text{penurunan selama proses} = \text{akumulasi} \quad (1)$$

*Masuk-keluar* mengacu pada pengangkutan bersih zat ke dalam reaktor, *penurunan selama proses* mengacu pada produksi atau destruksi bersih oleh reaksi atau proses fisik, dan *akumulasi* adalah jumlah yang tersisa.

Tahap analisis kesetimbangan adalah sebagai berikut:

- Skema atau diagram alir sederhana dari sistem atau proses dipersiapkan.
- Sistem atau batas kontrol volume digambar untuk menentukan batasan penerapan kesetimbangan massa.
- Semua notasi untuk reaksi biologis atau kimia dimasukkan.
- Persamaan kesetimbangan massa dibuat berdasarkan notasi dan perhitungan yang telah dibuat.

## 3. HASIL DAN PEMBAHASAN

### 3.1. Kuantitas dan Kualitas Air Limbah

Pembacaan debit air limbah dilakukan selama dua minggu berturut-turut dari tanggal 29 April 2013 hingga 11 Mei 2013, kecuali pada hari Minggu. Penentuan kapasitas instalasi pengolahan air limbah didasarkan atas perkiraan total debit puncak yang dihasilkan pada satu hari, sehingga debit air limbah industri tersebut diperoleh sebesar 166 m<sup>3</sup>/hari. Debit yang dihasilkan sangat kecil. Sistem dengan aliran kontinu tidak mungkin diterapkan pada kondisi tersebut. Dengan demikian, sistem *batch* digunakan dengan menggunakan bak penampung di awal proses pengolahan yang berfungsi menampung air limbah dengan waktu detensi minimal 24 jam sebelum dialirkan ke unit selanjutnya. Debit aliran berubah dengan bantuan pompa sebesar 0,12 m<sup>3</sup>/detik.

Hasil pembacaan fluktuasi debit setiap jam selama 24 jam diikuti dengan pengambilan sampel untuk pengukuran parameter BOD dan TSS. Serupa dengan fluktuasi debit, kedua parameter tersebut merupakan parameter utama dalam menentukan mekanisme proses pengolahan air limbah. Nilai rata-rata BOD dan TSS dihasilkan sebesar 661,19 mg/L dan 332 mg/L. Nilai kedua parameter tersebut berada di atas nilai baku mutu Keputusan Gubernur Provinsi Daerah Khusus Ibukota Jakarta Nomor 582 Tahun 1995 tentang *Penetapan Peruntukan dan Baku Mutu Air Sungai/Badan Air serta Baku Mutu Limbah Cair di Wilayah Daerah Khusus Ibukota Jakarta* (TSS sebesar 100 mg/L) serta Peraturan Menteri Negara Lingkungan Hidup Nomor 3 Tahun 2010 tentang *Baku Mutu Air Limbah Bagi Kawasan Industri* (BOD sebesar 50 mg/L). IPAL merupakan syarat mutlak untuk segera dibangun oleh industri tersebut, sehingga dampak yang ditimbulkan dapat direduksi sebelum air limbah dibuang ke lingkungan.

### 3.2. Kesetimbangan Massa dan Aliran Hidrolik

Reaktor model *completely mixed* terdiri dari tangki yang diberi pengaduk untuk mencampurkan aliran yang masuk dan mengeluarkan sebagian material ke unit reaktor selanjutnya (Reynolds dan Richards, 1996). Setelah memasuki reaktor, air limbah yang masuk hampir seketika tercampur dengan air limbah yang telah tertampung di reaktor tersebut, sehingga volume dan kandungan air limbah reaktor menjadi seragam. Reaktor model ini digunakan pada proses biologis pada unit IPAL yang akan dirancang.

IPAL diawali dengan unit *screening* dan diakhiri unit desinfeksi. Lumpur hasil pengolahan disalurkan ke unit pengolahan lumpur berupa digester anaerobik dan sentrifugasi. Runtutan proses dapat dilihat pada Gambar 1 yang telah dilengkapi notasi kesetimbangan massa. *Screening* berupa rangkaian kisi-kisi besi untuk menyisihkan benda-benda kasar, misalnya kertas, plastik, atau potongan kayu terapung yang dapat mengganggu jalannya proses pengolahan air limbah. *Gritchamber* berfungsi menangkap pasir agar tidak terbawa pada proses selanjutnya, sebab pasir tak dapat dihancurkan dengan proses biologis. Sedimentasi primer berfungsi untuk mengurangi kandungan TSS, sebagian padatan organik dalam air buangan (antara 50% - 65%) dan menurunkan BOD (25% - 40%) melalui proses fisik tanpa pembubuhan zat kimia (Metcalf and Eddy, 2003). Pada pengolahan dengan lumpur aktif, lumpur padat atau flok-flok yang terbentuk bersama mikroorganisme (bakteri dan protozoa) yang hidup. Lumpur aktif dicampur dengan air limbah



Tabel1.Persamaan Kesetimbangan Debit Aliran Air Limbah

Unit	No. Persamaan	Persamaan
Screening	(2)	$Q_0 = Q_{sc} + Q_{scw}$
Grit chamber	(3)	$Q_{sc} = Q_g + Q_w$
Sedimentasi primer	(4)	$Q_{sc} = Q_g + Q_w$
	(5)	$Q_g + Q_{ct} + Q_{ts} = Q_{p0}$
Lumpuraktif (bakaerasi)	(6)	$Q_p + rQ_p = Q_A$
Sedimentasisekunder(Clarifier)	(7)	$Q_A = Q_s + Q_{us}$
	(8)	$Q_{us} = Q_w + rQ_p$
Desinfeksi	(9)	$Q_s + Q_{cl} = Q_f$
		$Q_s = Q_f$
Thickener	(10)	$Q_{up} + Q_w = Q_{ts} + Q_l$
Digester anaerobic	(11)	$Q_t = Q_d$
Sentrifugasi	(12)	$Q_d + Q_{pl} = Q_{ck} + Q_{ct}$

Catatan: \* $Q_{cl}$  adalah laju aliran gas dan tidak mempengaruhi laju aliran, sehingga  $Q_{cl}$  dapat diabaikan.

Selain persamaan kesetimbangan debit aliran, persamaan kesetimbangan padatan (*solid balance*) dan substrat (*substrat balance*) harus diformulasikan guna memperoleh variable-variable kesetimbangan secara lengkap. Persamaan kesetimbangan padatan dan keseimbangan zat diformulasikan sebagai berikut:

a. *Screening*

Konsentrasi limbah yang terkumpul di screening ( $X_{scw}$ ) berdasarkan basis volume sebesar  $0,005 \text{ m}^3/1000 \text{ m}^3$ . Perlu diperhatikan bahwa konsentrasi padatan di influen screening dan efluen screening hamper tidak mengalami perubahan yang signifikan..

$$Q_0 X_{scw} = Q_{scw} \quad (13)$$

b. *Grit chamber*

Serupa dengan *screening*, konsentrasi padatan pada influen tidak mengalami perubahan yang signifikan. Konsentrasi pasir (*grit*) yang terkumpul( $X_{gw}$ ) berdasarkan basis volume sebesar  $0,008 \text{ m}^3/1000 \text{ m}^3$ .

$$Q_{sc} X_{gw} = Q_{gw} \quad (14)$$

c. *Sedimentasi primer*

*Kesetimbangan padatan:*

Tidak ada perubahan  $X_0$  pada dua unit pengolahan awal.

$$Q_g X_0 + Q_{ct} X_{ct} + Q_{ts} X_{ts} = Q_p X_p + Q_{up} X_{up} \quad (15)$$

$$Q_g X_0 + Q_{ct} X_{ct} + Q_{ts} X_{ts} = Q_{p0} X_{p0} \quad (16)$$

Rasio reduksi padatan( $R_p$ )dapat dijabarkan melalui persamaan:

$$\frac{Q_p X_p}{Q_{p0} X_{p0}} = R_p \quad (17)$$

*Kesetimbangan substrat:*

Tidak ada perubahan pada konsentrasi BOD pada dua unit pengolahan awal, pada aliran  $Q_{cl}$  dan  $Q_{ts}$ . Nilai reduksi BOD di sedimentasi primer ( $f_{pBOD}$ ) sebesar 0,35. BOD pada aliran bawah (*underflow*) sedimentasi primer juga diabaikan, sehingga kesetimbangan substrat menjadi:

$$Q_g S_0 = Q_p S_p + f_{pBOD} Q_g S_0 \quad (18)$$

Persamaan (18) di atas menggambarkan reduksi BOD pada sedimentasi primer.

d. *Aerasi pada unit lumpur aktif*

*Kesetimbangan padatan:*

Pada bak aerasi terjadi penurunan dan perubahan padatan di bak aerasi ( $\Delta X$ ), sehingga persamaan menjadi:

$$Q_p X_p + rQ_p X_{us} + \Delta X = Q_A X_A \quad (19)$$



**Kesetimbangan substrat:**

Kesetimbangan substrat untuk bak aerasi termasuk nilai  $\Delta S$  untuk reduksi konsentrasi BOD:

$$Q_p S_p + r Q_p S_A = Q_A S_A + \Delta S \quad (20)$$

Untuk menentukan  $\Delta X$  pada Persamaan (19), koefisien hasil (*yield*) bersih ( $Y$ ) telah diketahui pada data informasi awal.  $\Delta X$  berdasarkan reduksi BOD pada bak aerasi adalah:

$$\Delta X = Y \Delta S \quad (21)$$

**e. Sedimentasi sekunder**

Kesetimbangan padatan pada unit sedimentasi sekunder adalah:

$$Q_A X_A = Q_s X_s + Q_{uS} X_{uS} \quad (22)$$

Tidak ada perubahan konsentrasi padatan ketika  $Q_{uS}$  terpecah menjadi  $Q_p$  dan  $Q_w$ .

**f. Desinfeksi**

Tidak ada perubahan pada konsentrasi TSS di bak desinfeksi karena klorin merupakan zat terlarut. Jumlah BOD yang sangat kecil yang akan dioksidasi oleh klorin, namun diasumsikan nilainya dapat diabaikan.

**g. Thickener**

Rasio pengumpulan di *thickener* didefinisikan sebagai  $C_t$ .

$$Q_{up} X_{up} + Q_w X_{uS} = Q_{tS} X_{tS} + Q_t X_t \quad (23)$$

$$\frac{Q_t X_t}{Q_{up} X_{up} + Q_w X_{uS}} = C_t \quad (24)$$

**h. Digester anaerobik**

Reduksi padatan pada *digester anaerobik* dapat diketahui dengan menggunakan faktor  $f_{AD}$ :

$$Q_t X_t = Q_d X_d + f_{AD} Q_t X_t \quad (25)$$

**i. Sentrifugasi**

Laju pembubuhan dosis polimer didefinisikan sebagai  $D_{pl}$ . Rasio pengumpulan di sentrifugasi didefinisikan melalui notasi  $C_c$ .

$$(Q_{pt} X_{pt}) / (Q_d X_d) = D_{pt} \quad (26)$$

$$Q_d X_d + Q_{pl} X_{pl} = Q_{ck} X_{ck} + Q_{ct} X_{ct} \quad (27)$$

$$\frac{Q_{ck} X_{ck}}{Q_d X_d + Q_{pl} X_{pl}} = C_c \quad (28)$$

Perlu diperhatikan setelah persamaan dapat dipecahkan, satuan variable harus dipertahankan sama untuk dapat memastikan bahwa perhitungan benar. Hasil perhitungan dapat disajikan pada Tabel 2, berikut pencantuman deskripsi variable dan acuan dari persamaan yang digunakan.

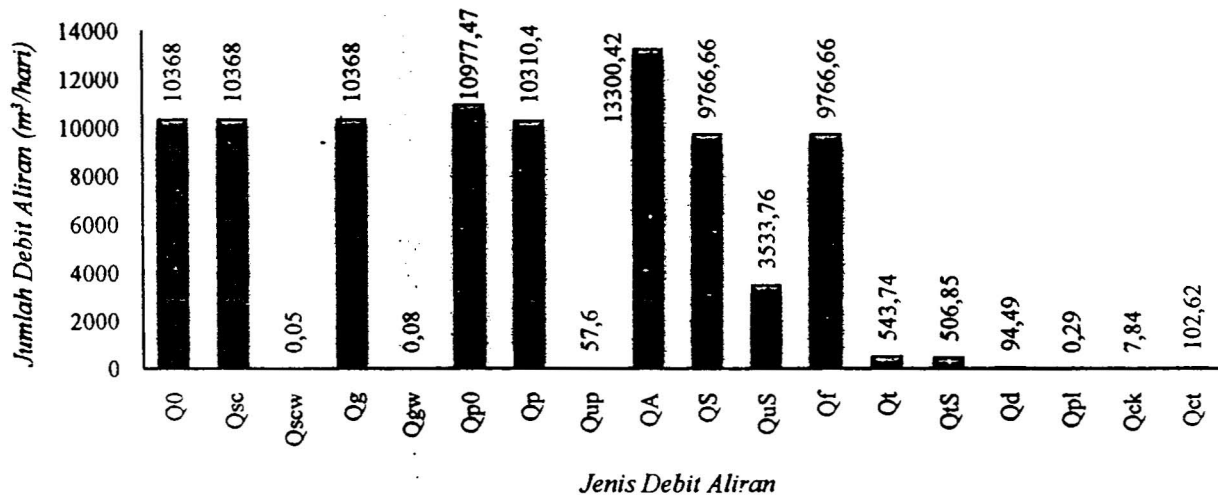
Tabel 2. Variabel kesetimbangan massadan debit aliran air limbah

Notasi	Deskripsi	Nilai	Acuan
$S_0$	Konsentrasi BOD influen (mg/L)	661	Data primer
$X_0$	Konsentrasi influen TSS (tidak termasuk <i>screening</i> dan <i>grit chamber</i> )	342	Data primer
$Q_0$	Debit aliran influen (m <sup>3</sup> /hari)	10368	Data primer
$Q_{sc}$	Debit aliran setelah <i>screening</i> (m <sup>3</sup> /hari)	10368	Pers. (2)
$Q_{scw}$	Laju volumetriks <i>screening</i> (m <sup>3</sup> /detik)	$6 \times 10^{-7}$	Pers. (13)
$X_{scw}$	Jumlah material yang terkumpul di <i>screening</i> (m <sup>3</sup> /1000 m <sup>3</sup> )	0,005	Data sekunder
$Q_R$	Debit aliran setelah <i>grit chamber</i> (m <sup>3</sup> /hari)	10368	Pers. (3)
$Q_{gw}$	Laju volumetriks <i>grit chamber</i> (m <sup>3</sup> /detik)	$9,6 \times 10^{-7}$	Pers. (14)

Notasi	Deskripsi	Nilai	Asal
$X_{gw}$	Jumlah pasir yang terkumpul di <i>grit chamber</i> ( $m^3/1000 m^3$ )	0,008	Data sekunder
$Q_{p0}$	Total debit aliran yang masuk ke sedimentasi primer ( $m^3/hari$ )	10977,47	Pers. (5)
$X_{p0}$	Total konsentrasi TSS influen sedimentasi primer (mg/L)	420,15	Pers. (16)
$Q_p$	Debit aliran supernatan efluen sedimentasi primer ( $m^3/hari$ )	10310,4	Pers. (4)
$X_p$	Konsentrasi TSS supernatan efluen sedimentasi primer (mg/L)	129,96	$X_p - (1 - R_p) X_0$
$S_p$	Konsentrasi BOD efluen sedimentasi primer (mg/L)	418,76	Pers. (18)
$X_{up}$	Konsentrasi TSS aliran bawah ( <i>underflow</i> ) efluen sedimentasi primer (kg/L)	0,045	Data sekunder
$Q_{up}$	Debit aliran bawah ( <i>underflow</i> ) efluen sedimentasi primer ( $m^3/hari$ )	57,6	$Q_{up} = \frac{R_p Q_0 X_0}{X_{up}}$
$Q_A$	Debit aliran efluen aerasi-lumpur aktif ( $m^3/hari$ )	13300,42	Pers. (6)
$S_A$	Konsentrasi BOD efluen aerasi-lumpur aktif (mg/L)	5	Data sekunder
$Q_S$	Debit aliran supernatan efluen sedimentasi sekunder ( $m^3/hari$ )	9766,66	Pers. (7)
$X_S$	Konsentrasi TSS supernatan efluen sedimentasi sekunder (mg/L)	10	Data sekunder
$Q_{us}$	Debit aliran bawah ( <i>underflow</i> ) efluen sedimentasi sekunder ( $m^3/hari$ )	3533,76	Pers. (7) dan Pers. (22): $Q_{us} = \frac{Q_A (X_S - X_A)}{X_S - X_{us}}$
$X_{us}$	Konsentrasi TSS aliran bawah ( <i>underflow</i> ) efluen sedimentasi sekunder (mg/L)	7500	Data sekunder
$r$	rasio debit aliran <i>recycle</i> sedimentasi sekunder ke debit aliran efluen sedimentasi primer	0,29	Pers. (19) dan Pers. (6): $r = \frac{Q_p (X_p - X_A) + \Delta X}{Q_p (X_A - X_{us})}$
$Q_f$	Debit aliran efluen desinfeksi ( $m^3/hari$ )	9766,66	Pers. (9)
$Q_w$	Debit aliran limbah lumpur aktif dari sedimentasi sekunder ( $m^3/hari$ )	543,74	Pers. (8)
$Q_t$	Debit aliran bawah ( <i>underflow</i> ) efluen <i>thickener</i> ( $m^3/hari$ )	94,49	Pers. (24) dan $X_t$ : $Q_t = \frac{Q_t X_t}{X_t}$
$X_t$	Konsentrasi TSS aliran bawah ( <i>underflow</i> ) efluen <i>thickener</i> (kg/L)	0,06	Data sekunder
$Q_{is}$	Debit aliran supernatan efluen <i>thickener</i> menuju influen sedimentasi primer ( $m^3/hari$ )	506,85	Pers. (10)
$X_{is}$	Konsentrasi TSS supernatan efluen <i>thickener</i> menuju influen sedimentasi primer (mg/L)	1974,25	Pers. (23)
$Q_d$	Debit aliran bawah ( <i>underflow</i> ) efluen <i>digester</i> anaerobik ( $m^3/hari$ )	94,49	Pers. (11)
$X_d$	Konsentrasi TSS aliran bawah ( <i>underflow</i> ) efluen <i>digester</i> anaerobik (g/L)	27	Pers. (25) dan $X_d$ : $Q_t = \frac{Q_d X_d}{X_d}$
$Q_{pl}$	Laju aliran <i>conditioning</i> polimer untuk sentrifugasi ( $m^3/hari$ )	0,29	Pers. (26)
$X_{pl}$	Konsentrasi TSS polimer untuk sentrifugasi (kg/L)	80	Data sekunder
$Q_{ck}$	Debit volumetrik pembuangan padatan kering ( <i>cake</i> ) dari <i>centrifuge</i> ( $m^3/hari$ )	7,84	Pers. (28) dan $X_{ck}$ : $Q_{ck} = \frac{Q_{ck} X_{ck}}{X_{ck}}$
$X_{ck}$	Konsentrasi TSS padatan kering ( <i>cake</i> ) efluen sentrifugasi (kg/L)	0,32	Data sekunder
$Q_{ct}$	Debit aliran <i>centrate</i> dari sentrifugasi menuju influen sedimentasi primer ( $m^3/hari$ )	102,62	Pers. (12)
$X_{ct}$	Konsentrasi TSS <i>centrate</i> dari sentrifugasi menuju influen sedimentasi primer (mg/L)	640	Pers. (27)

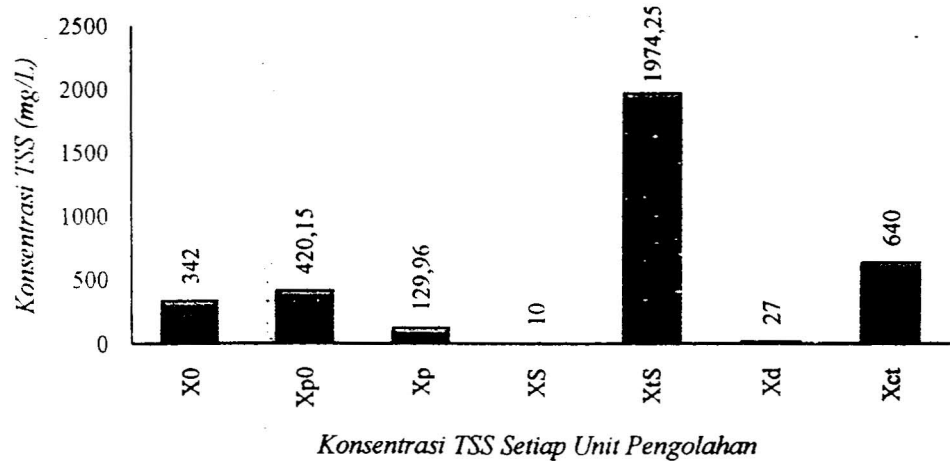
Hal yang sangat fundamental pada tahapan pengolahan air limbah di atas ketika air limbah memasuki unit sedimentasi primer dan pengolahan lumpur aktif (*activated sludge*). Unit sedimentasi primer dirancang untuk mengurangi konsentrasi TSS sebesar 50-65% dan menurunkan konsentrasi BOD sebesar 25-40% melalui proses fisik tanpa pembubuhan zat kimia. Berdasarkan perhitungan kesetimbangan massa, konsentrasi TSS diharapkan dapat direduksi hingga 69% berdasarkan konsentrasi TSS influen sebesar 420,15 mg/L dan efluen sebesar 129,96 mg/L. Konsentrasi BOD diharapkan dapat direduksi hingga 37% berdasarkan konsentrasi BOD influen sebesar 420,15 mg/L dan efluen sebesar 418,76 mg/L. Lumpur endapan masih mengandung material organik yang tinggi, sehingga efluen lumpur dialirkan ke unit *sludgethickener* sebesar 57,6  $m^3/hari$ , sedangkan filtrat (supernatan) dialirkan ke pengolahan lumpur aktif sebesar 10310,4  $m^3/hari$ . Aliran umpan air limbah/substrat, bercampur dengan aliran lumpur aktif yang dikembalikan (rasio debit aliran *recycle* sebesar 0,29) sebelum masuk rektor. Campuran lumpur aktif dan air limbah membentuk suatu campuran yang disebut cairan tercampur/*mixed liquor* (Sutapa, 1999). Memasuki bak aerasi, lumpur aktif dengan cepat memanfaatkan zat organik dalam limbah untuk didegradasi. Zat-zat organik yang ada di dalam air limbah diserap oleh mikroorganisme dan diubah bentuknya menjadi flok, sebagai bahan pembentuk pertumbuhan sel

dan sebagai sumber energi (Tjokrokusumo, 1998). Flok ini yang menyebabkan konsentrasi TSS di bak aerasi tinggi hingga mencapai 0,045 kg/L. Pada sedimentasi sekunder (*clarifier*), lumpur yang diendapkan sebagian akan dikembalikan ke unit pengolahan biologis berupa lumpur aktif, sedangkan supernatan dialirkan menuju unit pengolahan desinfeksi dengan debit 9766,66 m<sup>3</sup>/hari. Prinsip mekanisme proses pada unit *clarifier* menyerupai unit sedimentasi primer. Untuk menghasilkan efluen dengan kualitas yang baik, Benefield (2001) menjelaskan bahwa biomassa (setelah memisahkan material organik dari air limbah) harus dipisahkan dari cairan/supernatan. Sedimentasi sekunder ini hampir selalu merupakan tahap pembatas kualitas efluen. BOD yang keluar diefluen biasanya di bawah 5 mg/L, namun padatan biomassa yang masih terkandung pada air limbah memungkinkan akan memproduksi BOD efluen 20 mg/L atau lebih besar.



Gambar 2. Debit aliran pada setiap unit IPAL

Dari grafik pada Gambar 2 diatas, debit aliran bawah (*underflow*) terlihat cukup kecil dibandingkan dengan aliran utama (*main liquidstream*). Debit aliran bawah disimbolkan dengan notasi  $Q_{scw}$ ,  $Q_{gw}$ ,  $Q_{up}$ ,  $Q_{uS}$ ,  $Q_t$ ,  $Q_{ts}$ ,  $Q_d$ ,  $Q_{pl}$ ,  $Q_{ck}$  dan  $Q_{ct}$ . Hal ini disebabkan sebagian besar fase cairan/supernatan tersalurkan melalui aliran utama dari *screening* hingga desinfeksi, sedangkan padatan (*solid*) tersalurkan melalui aliran bawah (*underflow*) menuju unit pengolahan lumpur. Pada Gambar 3, konsentrasi TSS terbesar dihasilkan dari supernatan efluen *thickener* menuju influen sedimentasi primer ( $X_{ts}$ ) sebesar 1974,25 mg/L. Nilai tersebut diakibatkan konsentrasi TSS merupakan hasil dari pemisahan padatan dari unit sedimentasi primer dan sedimentasi sekunder hasil dari proses pengolahan biologis. *Thickener* berfungsi untuk mengurangi volume lumpur dengan membuang supernatan. Supernatan adalah cairan atau fase cair di dalam lumpur yang terpisah dengan fase padatan. Umumnya supernatant diresirkulasi kembali ke dalam unit pengolahan utama air limbah.



Gambar 3. Konsentrasi TSS pada setiap unit IPAL\*  
 Catatan: \*Tidak mencakup konsentrasi TSS berdasarkan data sekunder.

#### 4. KESIMPULAN

Analisis kesetimbangan massa merupakan metode cepat untuk mengidentifikasi perbedaan dalam pengolahan data dan kesalahan dalam pengukuran contoh (*sampel*) air limbah. Dengan melacak keseimbangan debit aliran, padatan dan substrat pada setiap unit pengolahan secara keseluruhan, pemahaman yang lebih baik tentang hubungan antara komponen-komponen yang mendukung mekanisme proses pengolahan dapat diperoleh. Dampak dari konfigurasi proses yang berbeda dapat dievaluasi dengan menggunakan model kesetimbangan massa dikembangkan untuk seluruh unit pengolahan. Dari analisis tersebut, debit aliran bawah (*underflow*) pada unit IPAL lebih kecil dibandingkan aliran utama (*main liquidstream*), sedangkan konsentrasi TSS meningkat ketika memasuki unit pengolahan lumpur. Reduksi konsentrasi BOD dan TSS sebesar 97% ketika air limbah berada pada effluen unit desinfeksi. Angka tersebut perlu diverifikasi kembali ketika rancangan unit pengolahan dibuat. Pengulangan (iterasi) perhitungan dibutuhkan untuk mendapatkan akurasi nilai variabel terbaik.

#### 5. REFERENSI

- Benefield, L., 1993. *Biological Process Design for Wastewater Treatment*, Ibis Publishing, Melbourne.
- Droste, R. L., 1997. *Theory and Practice of Water and Wastewater Treatment*, John Wiley & Sons, Toronto.
- Environmental Protection Agency, 2003. *Wastewater Technology Fact Sheet: Screening and Grease Removal*, Washington D.C.
- Metcalf and Eddy, 2003. *Wastewater Engineering: Treatment, Disposal and Reuse*, McGraw-Hill, New York.
- Reynolds, T. D., Paul A. Richards, 1996. *Unit Operations and Processes in Environmental Engineering*, PWS Publishing Company, Boston.
- Sutapa, I. D. A., 1999. "Lumpur Aktif: Alternatif Pengolah Limbah Cair", *Jurnal Studi Pembangunan, Kemasyarakatan & Lingkungan*, No. 3, p. 25-38.
- Thomas, M., 2009, "Optimisation of Dewatering Centrifuges", *Proceeding of 34th Annual Old Water Industry Operations Workshop*, Indoor Sports Stadium Caloundra, p. 106-112.
- Tjokrokusumo. 1999. *Pengantar Enjiniring Lingkungan*, Jilid 2, Sekolah Tinggi Teknik Lingkungan YLH, Yogyakarta.