

Dr. Lilis Hermida, S.T., M.Sc.
Dr. Joni Agustian, S.T., M.Sc.

PERANCANGAN **SISTEM PENGOLAHAN** **LIMBAH CAIR**




PERANCANGAN SISTEM PENGOLAHAN LIMBAH CAIR

Aktivitas manusia mempunyai pengaruh besar terhadap lingkungan. Senyawa atau zat kimia pencemar (polutan) sering terkonsentrasi di lingkungan melalui proses-proses industri, produksi tenaga listrik dan lain-lain.

Ketika polutan telah masuk ke lingkungan, membersihkan lingkungan dari zat tersebut sangatlah sulit yang akan memakan waktu dan biaya. Sehingga pengembangan teknologi bersih dan kemudian implementasi pengolahan aliran limbah cair yang efektif adalah langkah yang diperlukan untuk melindungi pencemaran lingkungan dimasa mendatang.

PERANCANGAN SISTEM PENGOLAHAN LIMBAH CAIR membahas metode reduksi zat pencemar didalam aliran limbah cair melalui proses pengolahan secara fisika, kimia dan biologi. Setiap proses pengolahan yang dibahas mempunyai kelebihan dan kekurangan. Namun setiap proses pengolahan tersebut dapat berhasil diterapkan apabila kondisi operasinya sesuai kebutuhan. Kombinasi proses pengolahan sering lebih berhasil dibandingkan menggunakan salah satu proses pengolahan saja. Walaupun tidak semua metode pengolahan limbah cair yang di bahas didalam buku ini, metoda pengolahan limbah cair potensial yang berguna dibahas didalam buku ini. Setiap bab menampilkan prinsip dasar teknologi dan aplikasinya pada sistem pengolahan limbah cair.

AURA
ANUGRAH UTAMA RAHARJA

 Aura-Publishing
 @Aura_Publishing
 www.aura-publishing.com



PER

PER

LI

Dr.

Dr.

Hak cipta pada penulis
Hak penerbitan pada penerbit

Tidak boleh diproduksi sebagian atau seluruhnya dalam bentuk apapun
Tanpa izin tertulis dari pengarang dan/atau penerbit

Kutipan Pasal 72 :

Sanksi pelanggaran Undang-undang Hak Cipta (UU No. 10 Tahun 2012)

1. Barang siapa dengan sengaja dan tanpa hak melakukan perbuatan sebagaimana dimaksud dalam Pasal 2 ayat (1) atau Pasal (49) ayat (1) dan ayat (2) dipidana dengan pidana penjara masing-masing paling singkat 1 (satu) bulan dan/atau denda paling sedikit Rp. 1.000.000,00 (satu juta rupiah), atau pidana penjara paling lama 7 (tujuh) tahun dan atau denda paling banyak Rp. 5.000.000.000,00 (lima miliar rupiah)
2. Barang siapa dengan sengaja menyiarkan, memamerkan, mengedarkan, atau menjual kepada umum suatu Ciptaan atau hasil barang hasil pelanggaran Hak Cipta atau Hak Terkait sebagaimana dimaksud ayat (1) dipidana dengan pidana penjara paling lama 5 (lima) tahun dan/atau denda paling banyak Rp. 500.000.000,00 (lima ratus juta rupiah)

PERANCANGAN SISTEM PENGOLAHAN LIMBAH CAIR

Dr. Lilis Hermida, S.T., M.Sc.

Dr. Joni Agustian, S.T., M.Sc.

AURA
ANUGRAH UTAMA RAHARJA

Perpustakaan Nasional RI:
Katalog Dalam Terbitan (KDT)

**PERANCANGAN SISTEM PENGOLAHAN
LIMBAH CAIR**

Penulis:

Dr. Lilis Hermida, S.T., M.Sc.
Dr. Joni Agustian, S.T., M.Sc.

Desain Cover & Layout

Team Aura Creative

Penerbit

CV. Anugrah Utama Raharja (AURA)

Anggota IKAPI

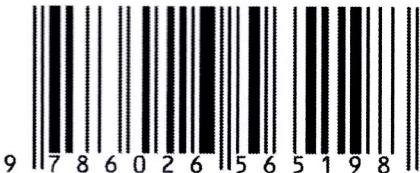
No.003/LPU/2013

Alamat

Jl. Prof. Dr. Soemantri Brojonegoro, Komplek Unila
Gedongmeneng Bandar Lampung
HP. 081281430268
E-mail : aura_print@ymail.com
Website : www.aura-publishing.com

xxiv + 177 hal : 15,5 x 23 cm
Cetakan, Desember 2016

ISBN: 978-602-6565-19-8



Hak Cipta dilindungi Undang-undang

KATA PENGANTAR

Bismillahirrahmanirahim, Assalamualaikum warahmatullahi wabarakaatuh, Alhamdulillah puji syukur kehadiran Allah SWT sholawat dan salam kami sampaikan kepada junjungan Rasulullah Muhammad SAW karena pada akhirnya buku ajar PERANCANGAN SISTEM PENGOLAHAN LIMBAH CAIR dapat diselesaikan.

Aktivitas manusia mempunyai pengaruh besar terhadap lingkungan. Senyawa atau zat kimia pencemar (polutan) sering terkonsentrasi di lingkungan melalui proses-proses industri, produksi tenaga listrik dan lain-lain. Ketika polutan telah masuk ke lingkungan, membersihkan lingkungan dari zat tersebut sangatlah sulit yang akan memakan waktu dan biaya. Sehingga pengembangan teknologi bersih dan kemudian implementasi pengolahan aliran limbah cair yang efektif adalah langkah yang diperlukan untuk melindungi pencemaran lingkungan dimasa mendatang.

PERANCANGAN SISTEM PENGOLAHAN LIMBAH CAIR membahas metode reduksi zat pencemar didalam aliran limbah cair melalui proses pengolahan secara fisika, kimia dan biologi. Setiap proses pengolahan yang dibahas mempunyai kelebihan dan kekurangan. Namun setiap proses pengolahan tersebut dapat berhasil diterapkan apabila kondisi operasinya sesuai kebutuhan. Kombinasi proses pengolahan sering lebih berhasil dibandingkan menggunakan salah satu proses pengolahan saja. Walaupun tidak semua metode pengolahan limbah cair yang di bahas didalam buku ini, metoda pengolahan limbah cair potensial yang berguna dibahas didalam buku ini. Setiap bab menampilkan prinsip dasar teknologi dan aplikasinya pada sistem pengolahan limbah cair.

Buku ini merupakan salah satu buku ajar pada mata kuliah 'Perancangan Sistem Proses Pengolahan Limbah Cair' yang ditujukan untuk mahasiswa jurusan Teknik Kimia.

Semoga buku ini bermanfaat.

Wassalamualaikum warahmatullahi wabarakatuh.

Bandar Lampung, November 2016

Dr. Lilis Hermida, S.T., M.Sc.

Dr. Joni Agustian, S.T., M.Sc.

UCAPAN TERIMA KASIH

Kami sangat berterima kasih kepada pihak-pihak yang membantu penyusunan dan penerbitan buku ajar PERANCANGAN SISTEM PENGOLAHAN LIMBAH CAIR ini, yaitu:

1. Dekan FT UNILA atas dukungannya berupa bantuan finansial melalui Program Hibah Buku Ajar Fakultas Teknik.
2. Ketua Jurusan Teknik Kimia FT UNILA atas dukungannya dalam kesempatan pembuatan buku ajar ini.
3. Para mahasiswa yang mengambil mata kuliah Perancangan Sistem Pengolahan Limbah Cair karena tanpa kalian kami tidak bersemangat dalam menyiapkan bahan-bahan perkuliahan.
4. Fabyan Mayhar dan Firli Gustav Alfathan, anak-anak kami tercinta yang telah mengerti dan memberikan waktu yang tenang selama penyusunan buku ini.

Dr. Lilis Hermida, S.T., M.Sc.

Dr. Joni Agustian, S.T., M.Sc.

DAFTAR ISI

KATA PENGANTAR	ii
UCAPAN TERIMAKASIH.....	iii
DAFTAR ISI	iv
DAFTAR TABEL	viii
DAFTAR GAMBAR	ix
OBJEKTIF DAN RANGKUMAN	xii
BAGIAN 01 – PENGOLAHAN LIMBAH CAIR SECARA FISIKA ..	1
BAB I PROSES FILTRASI DAN MEMBRAN	2
1.1 Pendahuluan	2
1.2 Filtrasi Cake	4
1.3 Mikrofiltrasi	
1.4 Ultrafiltrasi	
1.5 Reverse Osmosis	
1.6 Peralatan Separasi Membran	
BAB II PROSES KOAGULASI LIMBAH CAIR.....	15
2.1 Koagulasi Koloid.....	15
2.2 Koagulas	18
2.3 Proses Pengolahan Limbah Cair Secara Kimia Fisika	20
2.4 Pemisahan Fosfor dari Limbah Domestik	26
BAB III PROSES SEDIMENTASI LIMBAH CAIR	29
3.1 Pendahuluan.....	29

	3.2	Pengendapan Partikel Diskrit (Tipe I)	30
	3.3	Pengendapan Partikel Flukolan (Tipe II)	36
	BAGIAN 02 – PENGOLAHAN LIMBAH CAIR SECARA KIMIA		41
	BAB IV	FUNDAMENTAL PROSES SECARA KIMIA.....	42
	4.1	Pendahuluan	42
	4.2	Kelebihan dan Kekurangan Proses Secara Kimia	43
	4.3	Prinsip-prinsip Dasar	44
	4.4	Persamaan Nenrst	45
	4.5	Diagram Purbaix	46
	BAB V	PENGATURAN pH	48
	5.1	Pendahuluan.....	48
	5.2	Titration Asam Basa	49
	5.3	Hidrolisis	50
	5.4	Presipitasi Ion-Ion Logam	50
	5.5	Pemilihan Reagent	52
	BAB VI	REDUKSI DAN OKSIDASI KIMIA	55
	6.1	Zat-zat Pengoksidasi dan Penggunaan.....	56
	6.2	Zat-zat Pereduski dan Penggunaan	64
	BAB VII	PROSES ELEKTROKIMIA PENGOLAHAN LIMBAH CAIR	
	7.1	Pendahuluan.....	68
	7.2	Prinsip Dasar Elektrokimia	69
	7.3	Pemisahan Logam	73
	7.4	Proses Membran	75

ii
iii
iv
viii
ix
xii

1
2
2
4

15
15
18
20
26
29
29

BAGIAN 03 – PENGOLAHAN LIMBAH CAIR SECARA BIOLOGI	77
BAB VIII KONSEP PENGOLAHAN LIMBAH CAIR SECARA BIOLOGI	
8.1 Definisi.....	78
8.2 Istilah-istilah Umum.....	79
8.3 Faktor DesainUPB	82
8.4 Klasifikasi UPB.....	83
8.5 Mikrobiologi UPB	84
BAB IX PROSES LUMPUR AKTIF	90
9.1 Gambaran Umum Proses	90
9.2 Jenis Proses dan Parameter Perancangan	92
9.3 Aerasi Lumpur Aktif	93
9.4 Proses Complete Mix Reactor	97
9.5 Proses Plug Flow Reactor	103
9.6 Proses Oxidation Ditch	105
9.7 Proses Kolam Aerasi	106
9.8 Proses Kontak Stabilisasi	106
9.9 Proses Sequenching Batch Reactor	107
9.10 Perbandingan Proses Lumpur Aktif	108
9.11 Unit Sedimentasi/Klarifikasi	108
BAB X PROSES AEROBIK PERTUMBUHAN MELEKAT ...	111
10.1 Pendahuluan.....	111
10.2 Filter Tetes	112
10.3 Rotating Biological Contactor	121

77	BAB XI	PROSES ANAEROBIK PERTUMBUHAN	
		TERSUSPENSI	125
		11. 1 Perombakan Biologi Anaerobik	125
78		11. 2 Produksi Metana	128
79		11. 3 Bioreaktor UASB	128
82		11. 4 Anaerobic Digester	137
83	BAB XII	PROSES ANAEROBIK PERTUMBUHAN MELEKAT	140
84		12. 1 Pendahuluan	140
90		12. 2 Filter Anaerobik	141
90	REFERENSI	146
92			
93			
97			
103			
105			
106			
106			
107			
108			
108			
111			
111			
112			
121			

DAFTAR TABEL

Tabel 1.1.	Klasifikasi proses filtrasi dan membran	4
Tabel 2.1.	Kinerja koagulan pada pemisahan limbah kertas dan <i>pulp</i>	24
Tabel 6.1.	Jenis polutan dan aplikasi proses reduksi-oksidasi	56
Tabel 8.1.	Unit pengolahan limbah cair berdasarkan fungsi	79
Tabel 8.2.	Prosedur dan kriteria BOD.....	80
Tabel 8.2.	Turunan kombinasi kedua kelompok UPB	84
Tabel 8.3.	Kelompok mikroorganisme berdasarkan sumber energi dan karbon	87
Tabel 9.1.	Keuntungan dan kerugian proses lumpur aktif ...	91
Tabel 9.2.	Performa proses lumpur aktif berdasarkan karakter limbah cair	92
Tabel 9.3.	Pengaruh karakteristik limbah cair terhadap faktor desain.....	93
Tabel 9.4.	Kelebihan dan kekurangan proses lumpur aktif CMR	97
Tabel 9.6.	Kelebihan dan kekurangan sistem proses lumpur aktif parit oksidasi	105
Tabel 9.7.	Kelebihan dan kekurangan sistem proses lumpur aktif PFR.....	108
Tabel 9.9.	Perbandingan proses lumpur aktif	108
Tabel 10.1.	Karakteristik <i>trickling filter</i>	113
Tabel 10.2.	Kelebihan dan kekurangan filter tetes	113

Tabel 10.3.	Perbandingan karakteristik media isian filter tetes	115
Tabel 11.1.	Kelebihan dan kekurangan proses anaerobik	127
Tabel 11.2.	Perbandingan proses aerobik dan anaerobik.....	127
Tabel 11.3.	Perbandingan produksi biogas beberapa limbah cair.....	128
Tabel 11.4.	Karakteristik kinetika rerata proses	135
Tabel 11.4.	Patokan nilai dalam perancangan AD	139
Tabel 12.1.	Kelebihan dan kekurangan filter anaerobik	141

DAFTAR GAMBAR

Gambar 1.1.	Pembagian proses filtrasi membran	3
Gambar 1.2.	Diagram skematik <i>cake filter</i>	6
Gambar 1.3.	Diagram skematik suatu filter drum berputar ...	7
Gambar 1.4.	Penampang lintang suatu <i>filter press</i>	7
Gambar 1.5.	Unit mikrofiltrasi aliran silang	8
Gambar 1.6.	Proses ultrafiltrasi partikel	10
Gambar 1.7.	Kurva fluks ultrafiltrasi	10
Gambar 1.8.	Polarisasi konsentrasi pada permukaan membran	12
Gambar 1.9.	Proses osmosis terbalik air laut	12
Gambar 2.1.	Mekanisme koagulasi partikel solid	16
Gambar 2.2.	Suatu partikel koloid sangat negatif dengan medan elektrostatik	17
Gambar 3.1.	Proses sedimentasi gravitasi	30
Gambar 3.2.	Tipe pengendapan partikel solid	31
Gambar 3.1.	Fraksi massa partikel sebagai fungsi kecepatan pengendapan	33
Gambar 3.2.	Fraksi massa partikel sebagai fungsi kecepatan pengendapan	34
Gambar 3.3.	Fraksi massa partikel sebagai fungsi kecepatan pengendapan	35
Gambar 3.4.	Kontur konsentrasi yang sama untuk pengendapan	39
Gambar 4.1.	Diagram Pourbaix untuk Manganese	47

Gambar 5.1	Kurva titrasi untuk netralisasi asam kuat dengan berbagai jenis basa	49
Gambar 6.1.	Proses <i>breakpoint chlorination</i> : Kurva klorin residu.....	60
Gambar 6.2.	Diagram Pourbaix untuk Kromium.....	67
Gambar 7.1.	Diagram skematik suatu jenis sel elektrokimia...	70
Gambar 7.2.	Tipikal reaksi elektroda	71
Gambar 7.3.	Diagram skematik variasi potensial pada suatu sel elektrokimia	72
Gambar 7.4.	Sel CEER untuk regenerasi zat pengetsa.....	73
Gambar 7.5.	Prinsip elektrodialisis A dan C dengan membran pertukaran anion-kation.....	75
Gambar 7.6.	Prinsip sel pemisahan garam	76
Gambar 8.1.	Proses biologi reduksi zat organik limbah cair ...	79
Gambar 8.2.	Proses respirasi aerobik pada suatu sel mikroorganisme	81
Gambar 8.3.	Biodegradasi anaerobik polutan dalam limbah cair	82
Gambar 8.4.	Faktor perancangan bioreaktor limbah cair	83
Gambar 8.5.	Ilustrasi pengolahan limbah cair mikroorganisme tersuspensi.....	84
Gambar 8.6.	Diagram UPB pertumbuhan melekat.....	84
Gambar 8.7.	Pengolahan polutan limbah cair di <i>pond</i>	85
Gambar 8.8.	Simbiosis bakteri dan alga dalam reduksi polutan	86
Gambar 8.9.	Klasifikasi mikroorganisme protozoa.....	86
Gambar 8.10.	Proses simultan anabolisme dan katabolisme sel	87

Gambar 8.11.	Kurva pertumbuhan sel bakteri	88
Gambar 8.12.	Kurva pertumbuhan komunitas mikroorganisme	88
Gambar 9.1.	Elemen proses lumpur aktif	91
Gambar 9.2.	<i>Coarse bubble diffuser</i> (kiri) dan <i>fine bubble orifices</i> (kanan)	94
Gambar 9.3.	<i>Vertical surface propeller aerator</i>	94
Gambar 9.4.	<i>Surface brush aerator</i>	95
Gambar 9.5.	Aerator turbin	95
Gambar 9.6.	Perlengkapan aerator jet	96
Gambar 9.7.	<i>Paddle wheel aerator</i>	96
Gambar 9.8.	Rancangan dasar sistem pembuangan lumpur aktif berlebih.....	98
Gambar 9.9.	Diagram skematik sistem PFR.....	104
Gambar 9.10.	sistem oksidasi parit PFR (kiri) dan CMR (kanan).....	105
Gambar 9.11.	Kolam aerasi	106
Gambar 9.12.	Diagram skematik proses kontak stabilisasi	107
Gambar 9.13.	Suatu rangkaian operasi SBR	107
Gambar 10.1.	Rangkaian sistem proses <i>trickling filter</i>	112
Gambar 10.2.	Mekanisme biodegradasi di proses <i>trickling filter</i>	113
Gambar 10.3.	Fenomena <i>sloughing</i> lapisan film.....	114
Gambar 10.4.	Media <i>trickling filter</i> : kiri = plastik teratur, kanan = batu pecah.....	115
Gambar 10.5.	Analisis fluks di filter.....	116
Gambar 10.6.	<i>Trickling filter</i> 1 tahap	117
Gambar 10.7.	<i>Trickling filter</i> 2 (dua) tahap	118

88	Gambar 10.8. Sistem proses <i>Rotating Biological Contactors</i> (RBC)	121
8		
91	Gambar 10.8. Potongan penampakan peralatan RBC	121
	Gambar 11.1. Biodegradasi substrat secara anaerobik	126
94	Gambar 11.2. Rangkaian sistem reaktor UASB.....	129
94	Gambar 11.3. Efek suhu terhadap pertumbuhan bakteri metanogen.....	131
95		
95	Gambar 11.4. Efek perubahan pH terhadap aktivitas mikroorganisme	132
96		
96	Gambar 11.5. <i>Batch anarobic digester</i>	137
	Gambar 11.6. <i>Plug flow anarobic digester</i>	138
	Gambar 11.7. <i>Continous stirred tank reactor anarobic digester</i>	138
98		
	Gambar 11.8. <i>Anaerobic contact reactor</i>	138
104		
	Gambar 12.1. Filter anaerobik (kiri: <i>upflow</i> ; kanan: <i>downflow</i>)	141

105
106
107
107
112
113
114
115
116
117
118