

**PENGARUH PRE-KLORINASI DAN PENGATURAN PH
TERHADAP PROSES AKLIMATISASI DAN PENURUNAN COD
PENGOLAHAN LIMBAH CAIR TAPIOKA
SISTEM ANAEROBIC BAFFLED REACTOR**



TESIS

untuk memenuhi persyaratan
mencapai derajat Sarjana S2

Magister Teknik Kimia

**Happy Mulyani
2103110400009**

**PROGRAM PASCASARJANA
UNIVERSITAS DIPONEGORO
SEMARANG**

Juni, 2012

TESIS

**PENGARUH PRE-KLORINASI DAN PENGATURAN PH
TERHADAP PROSES AKLIMATISASI DAN PENURUNAN COD
PENGOLAHAN LIMBAH CAIR TAPIOKA
SISTEM *ANAEROBIC BAFFLED REACTOR***

Disusun Oleh :

Happy Mulyani

2103110400009

**telah dipertahankan di depan Tim Penguji
pada tanggal 8 Juni 2012
dan dinyatakan telah memenuhi syarat untuk diterima**

Menyetujui,

Pembimbing Pertama

Ketua Penguji

**Dr. Hadiyanto, ST, M.Sc
NIP. 19751028 199903 1 004**

**Dr. Ir. Setia Budi Sansongko, DEA
NIP. 19611226 198803 1 001**

Anggota Penguji (1)

**Ir. Indro Sumantri, M.Eng
NIP. 19611022 198803 1 002**

Anggota Penguji (2)

Pembimbing Kedua

**Ir. Sumarno, M.Si
NIP. 19511108 198012 1 001**

**Ir. Danny Soetrisnanto, M.Eng
NIP. 19541211 197901 1 001**

**Mengetahui,
Pembantu Dekan I Fakultas Teknik**

**Dr. rer. nat. Imam Buchori, ST
NIP. 19701123 199512 1 001**

PERNYATAAN

Dengan ini saya menyatakan bahwa tesis ini adalah hasil pekerjaan saya sendiri dan di dalamnya tidak terdapat karya yang pernah diajukan untuk memperoleh gelar kesarjanaan di suatu perguruan tinggi dan lembaga pendidikan lainnya. Pengetahuan yang diperoleh dari hasil penerbitan maupun yang belum/tidak diterbitkan, sumbernya dijelaskan di dalam tulisan dan daftar pustaka.

Semarang, Juni 2012

Happy Mulyani

NIM 2103110400009

ABSTRAK

Pengolahan biologi anaerob merupakan tahapan awal yang efektif menangani limbah berkadar BOD₅ dan COD tinggi seperti limbah cair tapioka. Kondisi asam serta tingginya CN⁻ akibat keberadaan HCN dan *cyanoglucoside* dalam akar ubi kayu ditengarai menghambat pengolahan biologi. Penelitian ini mengkaji pengaruh pengaturan pH dan penurunan kadar CN⁻ melalui pre-klorinasi *fresh feed* terhadap waktu aklimatisasi dan penurunan kadar COD operasi *anaerobic baffled reactor 2 baffle* serta besarnya nilai parameter kinetika reaksi. Secara garis besar, penelitian ini terbagi menjadi tahapan *pre-treatment*, aklimatisasi *batch* sampai tercapai *steady state* dan aplikasi operasi kontinu. Hasil penelitian menunjukkan bahwa limbah dengan COD influen 8000 mg/L dan pH 4,84 memerlukan 9 hari aklimatisasi untuk menurunkan COD menjadi 954 mg/L. Penurunan waktu aklimatisasi dan peningkatan besarnya penghilangan COD dapat dilakukan dengan pengaturan pH *fresh feed*. pH 8 merupakan kondisi pH influen terbaik dengan hasil 6 hari aklimatisasi diperlukan untuk memperoleh kadar COD efluen 347 mg/L. Pre-klorinasi *fresh feed* pada pH 8 dengan penambahan kaporit berdasar perbandingan mol Cl₂:CN⁻ 1:1 mereduksi waktu aklimatisasi hingga menjadi 5 hari dengan kadar COD efluen 230 mg/L. Aplikasi proses kontinu yang dioperasikan pada waktu tinggal saat aklimatisasi mencapai *steady state* menghasilkan penurunan kadar polutan lebih besar. Pre-klorinasi influen menghasilkan pertumbuhan bakteri terbaik dengan nilai μ_{\max} 2,579/hari, K_s 19,336 mg/L BOD, KI 0,864 mg/L CN⁻ dan yield 10,728 mg VSS/mg BOD.

Kata kunci: limbah cair tapioka; *anaerobic baffled reactor*; aklimatisasi; COD; preklorinasi; pengaturan pH

ABSTRACT

Anaerobical biological treatment is the first stage effective treatment to treat wastewater containing high BOD₅ and COD such as tapioca wastewater. Acidic nature and highly content of CN caused by existence of HCN and cyanoglucoside in cassava root was suspected be inhibitor for biological treatment. This research studies about influence of pH adjustment and CN reduction through fresh feed pre-chlorination in anaerobic baffled reactor 2 baffle operation especially in acclimatisation time, COD removal and reaction kinetic parameter value. Mainly, this research divided into stages such as: pre-treatment, batch acclimatisation until reaches steady state and application of continue operation. Research result shows that influen with COD 8000 mg/L and pH 4,84 requires 9 days acclimatisation for reducing COD content until 954 mg/L. Acclimatisation time reduction and higher COD removal could done by pH adjustment of fresh feed. pH 8 is the best influen pH in this research with result 6 days acclimatisation required for achieving COD effluent 347 mg/L. Fresh feed prechlorination in pH operation 8 with kaporit addition according to mole ratio Cl₂ : CN 1:1 could reduce acclimatisation time to 5 days with COD effluent 230 mg/L. Continous process application which operated in retention time when acclimatisation achieving steady state has proven resulting higher pollutant content reduction. Influen pre-chlorination results best bacterial growth performance with kinetic μ_{max} 2,579/day, K_s 19,336 mg/L BOD, KI 0,864 mg/L CN and yield 10,728 mg VSS/mg BOD.

Key words : tapioca wastewater; anaerobic baffled reactor; acclimatisation; COD; prechlorination; pH adjustment

KATA PENGANTAR

Segala puji dan syukur penulis panjatkan ke hadirat Allah SWT yang telah memberikan karunia dan melimpahkan rahmat-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan tesis ini sebagai salah satu persyaratan yang harus dipenuhi dalam penyelesaian studi pada program Magister Teknik Kimia Universitas Diponegoro Semarang.

Penulisan tesis yang berjudul “Pengaruh Pre-klorinasi dan Pengaturan pH Terhadap Proses Aklimatisasi dan Penurunan COD Pengolahan Limbah Cair Tapioka Sistem *Anaerobic Baffled Reactor*” ini ditulis sebagai salah satu upaya untuk menghasilkan rekomendasi alternatif pengolahan limbah cair tapioka yang efisien.

Pada kesempatan ini, penulis mengucapkan terima kasih kepada :

1. Prof. Dr. Ir. Bambang Pramudono, MS. selaku Ketua Program Magister Teknik Kimia Universitas Diponegoro Semarang.
2. Dr. Ir. Setia Budi Sasongko, DEA selaku pembimbing I yang telah membimbing dan mengarahkan dalam penyusunan laporan tesis ini.
3. Ir. Danny Soetrisnanto, M. Eng. selaku pembimbing II atas segala ilmu dan masukannya dalam proses penelitian dan penulisan laporan tesis.
4. Semua pihak yang telah membantu dalam proses penyelesaian penelitian tesis ini.

Akhir kata, semoga tesis ini dapat bermanfaat bagi para pembaca yang berkaitan dengan keilmuan maupun dapat menjadi studi literatur bagi penelitian yang berhubungan.

Semarang, Juni 2012

Penulis

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL	i
HALAMAN PENGESAHAN	ii
PERNYATAAN	iii
ABSTRAK	iv
<i>ABSTRACT</i>	v
KATA PENGANTAR	vi
DAFTAR ISI	vii
DAFTAR TABEL	x
DAFTAR GAMBAR	xi
DAFTAR LAMPIRAN	xii
I. PENDAHULUAN	1
1.1. Latar Belakang	1
1.2. Perumusan Masalah	2
1.3. Tujuan Penelitian	4
1.4. Batasan Masalah	4
II. TINJAUAN PUSTAKA	5
2.1. Proses Industri Tapioka	5
2.2. Karakteristik Limbah Cair Tapioka	6
2.3. Penghilangan Kadar CN ⁻	7
2.3.1. Oksidasi Biologi CN ⁻	8
2.3.2. Klorinasi CN ⁻	9
2.4. Pengolahan Biologi	10
2.5. <i>Anaerobic Baffled Reactor (ABR)</i>	11
2.5.1. Kelebihan dan Kelemahan ABR	12
2.5.2. Variabel Desain ABR	13
2.5.3. Mekanisme Pengolahan ABR	14

2.5.4. Reaksi Biokimia ABR	14
2.5.4.1. <i>Anaerobic Digestion</i>	14
2.5.4.2. Tahapan <i>Anaerobic Digestion</i>	16
2.6. Pertumbuhan Mikroorganisme	19
2.7. Kinetika Reaksi	20
2.8. Model Kinetika Reaksi	21
2.8.1. Model Kinetika Inhibisi	22
2.8.1.1. Model Kinetika Inhibisi Substrat	22
2.8.1.2. Model Kinetika Inhibisi Akibat Efek pH	23
III. METODE PENELITIAN	24
3.1. Rancangan Penelitian	24
3.2. Waktu dan Tempat	26
3.3. Bahan dan Alat	26
3.3.1. Bahan yang Digunakan	26
3.3.2. Alat yang Digunakan	26
3.4. Rancangan Variabel	28
3.5. Prosedur Penelitian	29
3.5.1. Penelitian Pendahuluan	29
3.5.1.1. Preparasi Bahan	29
3.5.1.2. Analisa Kualitas Awal Limbah	31
3.5.1.3. Perhitungan Kebutuhan Bahan Kimia	32
3.5.2. Penelitian Utama	33
3.5.2.1. Proses Pre-klorinasi <i>Fresh Feed</i>	33
3.5.2.2. Pengaturan pH Limbah	33
3.5.2.3. Proses Inokulasi dan Aklimatisasi	33
3.5.2.4. Operasi Kontinu Sistem ABR	34
3.6. Proses Analisis Data	35
3.6.1 Perhitungan Nilai Parameter Kinetika	35
IV. HASIL DAN PEMBAHASAN	38

4.1. Karakteristik Limbah dan Inokulum	38
4.2. Perbandingan Karakteristik Influen	39
4.2.1. Pengaruh Pengaturan pH Terhadap Karakteristik Influen	39
4.2.2. Pengaruh Pre-klorinasi Terhadap Karakteristik Influen	40
4.3. Proses Aklimatisasi	41
4.3.1. Pengaruh Pengaturan pH Influen Dalam Proses Aklimatisasi	42
4.3.1.1. Pengaruh Pengaturan pH Influen Terhadap Profil pH	42
4.3.1.2. Pengaruh Pengaturan pH Influen Terhadap Profil MLVSS	43
4.3.1.3. Pengaruh Pengaturan pH Influen Terhadap Profil COD	44
4.3.1.4. Pengaruh Pengaturan pH Influen Terhadap Profil CN ⁻	47
4.3.2. Pengaruh Pre-klorinasi Dalam Proses Aklimatisasi	48
4.4. Aplikasi Proses Kontinu	50
4.5. Kualitas Efluen	52
4.6. Penentuan Nilai Parameter Kinetika Reaksi	54
4.6.1. Hubungan Antara Nilai Laju Pertumbuhan Mikroorganisme dan pH	65
4.6.2. Hubungan Antara Nilai Laju Pertumbuhan Mikroorganisme dan Kadar BOD	68
V. KESIMPULAN DAN SARAN	71
5.1. Kesimpulan	71
5.2. Saran	71
VI. RINGKASAN	72
DAFTAR PUSTAKA	74
LAMPIRAN	xiii

DAFTAR TABEL

	Halaman
Tabel 2.1. Karakteristik limbah cair tapioka	6
Tabel 2.2. Kandungan nutrisi limbah cair tapioka	7
Tabel 2.3. Komposisi <i>Total Solid</i> (TS) limbah cair tapioka	7
Tabel 3.1. Rancangan variabel penentuan waktu aklimatisasi <i>batch</i>	28
Tabel 3.2. Rancangan variabel perbandingan kualitas efluen aklimatisasi <i>batch</i>	28
Tabel 3.3. Rancangan variabel perbandingan kualitas efluen operasi kontinu	29
Tabel 3.4. Rancangan variabel penentuan parameter kinetika reaksi	29
Tabel 3.5. Cara estimasi nilai parameter kinetika reaksi	36
Tabel 4.1. Karakteristik limbah cair tapioka sintesis	38
Tabel 4.2. Karakteristik benih lumpur	38
Tabel 4.3. Perbandingan karakteristik influen pengolahan sistem ABR	39
Tabel 4.4. Karakteristik efluen pengolahan sistem ABR	52
Tabel 4.5. Perbandingan nilai parameter kinetika reaksi tiap variasi <i>run</i>	55
Tabel 4.6. % selisih rata-rata data eksperimen dan estimasi tiap variasi <i>run</i>	65
Tabel 4.7. Kondisi pengolahan sistem ABR	65

DAFTAR GAMBAR

	Halaman
Gambar 2.1. Skema proses industri tapioka skala rumah tangga	5
Gambar 2.2. Skema ABR	12
Gambar 2.3. Skema proses <i>anaerobic digestion</i>	15
Gambar 2.4. Fase pertumbuhan mikroba kultur <i>batch</i>	19
Gambar 3.1. Skema tahapan penelitian	25
Gambar 3.2. Bak ABR	26
Gambar 3.3. Skema sistem pengolahan	27
Gambar 3.4. Algoritma penyelesaian model kinetika reaksi	37
Gambar 4.1. Kurva rasio MLVSS/MLSS vs waktu	41
Gambar 4.2. Profil MLSS limbah cair tapioka operasi aklimatisasi <i>batch</i> sistem ABR	41
Gambar 4.3. Pengaruh pengaturan pH terhadap profil pH operasi aklimatisasi <i>batch</i>	42
Gambar 4.4. Pengaruh pengaturan pH terhadap profil MLVSS operasi aklimatisasi <i>batch</i>	43
Gambar 4.5. Pengaruh pengaturan pH terhadap profil COD operasi aklimatisasi <i>batch</i>	45
Gambar 4.6. Pengaruh pengaturan pH terhadap profil rasio BOD/COD aklimatisasi <i>batch</i>	46
Gambar 4.7. Pengaruh pengaturan pH terhadap profil CN^- operasi aklimatisasi <i>batch</i>	47
Gambar 4.8. Pengaruh preklorinasi terhadap profil MLVSS operasi aklimatisasi <i>batch</i>	48
Gambar 4.9. Pengaruh preklorinasi terhadap profil CN^- operasi aklimatisasi <i>batch</i>	49
Gambar 4.10. Pengaruh preklorinasi terhadap profil COD operasi aklimatisasi <i>batch</i>	49
Gambar 4.11. Pengaruh preklorinasi terhadap kurva rasio BOD/COD aklimatisasi <i>batch</i>	50
Gambar 4.12. Profil pH limbah cair tapioka operasi kontinu sistem ABR	51
Gambar 4.13. Profil COD limbah cair tapioka operasi kontinu sistem ABR	51
Gambar 4.14. Profil MLSS limbah cair tapioka operasi kontinu sistem ABR	51
Gambar 4.15. Perbandingan kadar pH eksperimen dan estimasi variabel kontrol	57
Gambar 4.16. Perbandingan kadar CN^- eksperimen dan estimasi variabel kontrol	57
Gambar 4.17. Perbandingan kadar BOD eksperimen dan estimasi variabel kontrol	58
Gambar 4.18. Perbandingan kadar MLVSS eksperimen dan estimasi variabel kontrol	58
Gambar 4.19. Perbandingan kadar pH eksperimen dan estimasi variabel pH 7	59
Gambar 4.20. Perbandingan kadar CN^- eksperimen dan estimasi variabel pH 7	59
Gambar 4. 21. Perbandingan kadar BOD eksperimen dan estimasi variabel pH 7	60
Gambar 4.22. Perbandingan kadar MLVSS eksperimen dan estimasi variabel pH 7	60
Gambar 4.23. Perbandingan kadar pH eksperimen dan estimasi variabel pH 8	61
Gambar 4.24. Perbandingan kadar CN^- eksperimen dan estimasi variabel pH 8	61
Gambar 4.25. Perbandingan kadar BOD eksperimen dan estimasi variabel pH = 8	62
Gambar 4.26. Perbandingan kadar MLVSS eksperimen dan estimasi variabel pH = 8	62
Gambar 4.27. Perbandingan kadar pH eksperimen dan estimasi variabel pre-klorinasi	63
Gambar 4.28. Perbandingan kadar CN^- eksperimen dan estimasi variabel pre-klorinasi	63
Gambar 4.29. Perbandingan kadar BOD eksperimen dan estimasi variabel pre-klorinasi	64
Gambar 4.30. Perbandingan kadar MLVSS eksperimen dan estimasi variabel pre-klorinasi	64
Gambar 4.31. Hubungan antara pH dan laju pertumbuhan mikroorganisme variabel kontrol	66
Gambar 4.32. Hubungan antara pH dan laju pertumbuhan mikroorganisme variabel pH 7	66
Gambar 4.33. Hubungan antara pH dan laju pertumbuhan mikroorganisme variabel pH 8	67
Gambar 4.34. Hubungan antara pH dan laju pertumbuhan mikroorganisme pre-klorinasi	67

Gambar 4.35. Hubungan antara konsentrasi substrat dan laju pertumbuhan mikroorganisme variabel kontrol	68
Gambar 4.36. Hubungan antara konsentrasi substrat dan laju pertumbuhan mikroorganisme variabel pH 7	69
Gambar 4.37. Hubungan antara konsentrasi substrat dan laju pertumbuhan mikroorganisme variabel pH 8	69
Gambar 4.38. Hubungan antara konsentrasi substrat dan laju pertumbuhan mikroorganisme pre-klorinasi	70

DAFTAR LAMPIRAN

	Halaman
Lampiran 2. Prosedur Analisa COD	xiv
Lampiran 3. Prosedur Analisa BOD	xv
Lampiran 4. Prosedur Analisa CN ⁻	xviii
Lampiran 5. Prosedur Analisa Kadar Klor Aktif Dalam Kaporit	xx
Lampiran 6. Prosedur Analisa MLSS dan MLVSS	xxi
Lampiran 7. Estimasi Parameter Kualitas Efluen	xxii
Lampiran 8. Sampel Program MATLAB Digunakan	xxvii

BAB I

PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang

Tahapan pencucian akar ubi kayu dan ekstraksi pati proses industri tapioka akan menghasilkan limbah cair (Mai, 2006). Senyawa organik berkadar tinggi terdapat dalam air limbah proses ekstraksi pati (Seejuhn, 2002). Kadar *Biological Oxygen Demand* (BOD) sebesar 3000-7500 mg/L (Setyawati et al., 2011) dengan kisaran rasio BOD/COD 0,6-0,8 (Seejuhn, 2002) terkandung di dalamnya. Pemrosesan 400 ton ubi kayu menjadi tapioka juga dapat menghasilkan limbah cair berkadar sianida (CN⁻) 10-40 mg/L (Mai, 2006).

Jika bahan organik berkonsentrasi tinggi yang belum diolah dibuang ke badan air, maka bakteri akan menggunakan oksigen terlarut dalam air untuk proses pembusukannya sehingga dapat mematikan kehidupan dan menimbulkan bau busuk dalam air (Sugiharto, 1987). Selain itu, kehadiran 1 mg/L CN⁻ sudah dapat bersifat fatal pada ikan (Mai, 2006). Kebanyakan mikroorganisme pada proses pengolahan air limbah secara biologi pun sudah tidak mampu beradaptasi dengan adanya kehadiran 30 mg/L CN⁻ (Sugiharto, 1987). Sementara air tanah di dekat industri tapioka tercatat ada yang mengandung 1,2-1,6 mg/L CN⁻ (Mai, 2006).

Proses aerasi lumpur aktif dapat menghasilkan penurunan kadar *Chemical Oxygen Demand* (COD) tinggi dalam waktu singkat. Limbah cair tapioka dengan kisaran kadar COD 965-2355 mg/L yang diolah dalam bak aerasi lumpur aktif selama 24 jam menjadi turun konsentrasinya hingga hanya menjadi 29-70 mg/L (Mai, 2006). Namun, *supply* udara sebesar 43-123 m³ diperlukan untuk menguraikan 1 kg BOD dalam proses aerasi (Sugiharto, 1987). Besarnya keperluan nutrien dan tingginya produksi lumpur juga membuat metode aerasi lumpur aktif tidak sesuai untuk menangani air limbah berkadar COD tinggi (Mai, 2006).

Proses anaerob menghasilkan lumpur dan memerlukan nutrien lebih sedikit dibandingkan metode aerob. Senyawa organik juga dapat dikonversi menjadi gas metana (CH₄) dalam *anaerobic digestion* (Mai, 2006). Oleh karena itu, metode anaerob sesuai digunakan sebagai pengolahan pendahuluan untuk menangani limbah berkadar BOD dan COD tinggi (Seejuhn, 2002).

Sistem *Anaerobic Baffled Reactor* (ABR) merupakan suatu metode anaerob yang terbukti mampu menangani laju pembebanan organik tinggi dengan waktu pengolahan relatif singkat.

Rangkaian *baffle* vertikal dapat memaksa air limbah kontak dengan mikroorganisme dalam lumpur dan mengurangi kemungkinan terjadinya *wash out* (Movahedian et al., 2007). Namun, kelemahan umum metode anaerob yaitu lambatnya laju pertumbuhan mikroorganisme akibat tingginya sensitivitas bakteri terhadap pH dan toksik masih ditemui (Seghezzo, 2004).

Keberhasilan bioreaktor anaerob menurunkan kadar polutan limbah secara stabil tergantung kepada kemampuan kultur mikroorganisme untuk dapat melakukan adaptasi (aklimatisasi) dengan substrat yang akan diolah dan kondisi operasi pengolahan yang akan diterapkan. Hal yang perlu diperhatikan adalah waktu aklimatisasi dan jumlah benih dalam lumpur yang cukup (Schuner and Jarvis, 2009; Alexiou, 1998). Tingginya kandungan toksik dalam substrat juga dapat membuat proses adaptasi mikroorganisme terhadap substrat yang akan diolah dalam sistem *anaerobic digestion* berlangsung lebih lama (Schuner and Jarvis, 2009).

1.2. Perumusan Masalah

Proses pembuatan 1 ton tepung tapioka dapat menghasilkan 12 m³ limbah cair dengan kisaran pH 4,5-5 (Mai, 2006). Karakter tersebut dapat menyulitkan performa pengolahan reaktor anaerob. Aktivitas mikroba penghasil CH₄ (*methanogen*) yang berperan menghasilkan penurunan nilai COD hingga lebih dari 70 % total reduksi COD sistem *anaerobic digestion* akan terhambat pada kondisi pH di luar kisaran 6,5-7,2 (Hudson, 2010; Appels et al., 2008). Penurunan pH influen limbah cair tapioka dari kisaran nilai 6,7-7,1 menjadi 6,1 mampu menurunkan penghilangan kadar COD sistem *anaerobic digestion* dari 81-89 % hingga hanya menjadi 20 % (Mai, 2006).

CN⁻ juga tercatat merupakan inhibitor metabolisme dalam pengolahan anaerob. Penurunan laju hidrolisis sistem *anaerobic digestion* dapat terjadi dengan adanya peningkatan kadar CN⁻ influen (Mai, 2006). Kajian mengenai penurunan kadar CN⁻ limbah cair tapioka telah banyak dilakukan. Riyanti dkk. (2010) menyebutkan bahwa klorinasi dengan dosis 5 mg Ca(OCl)₂ tiap 100 ml limbah pada kondisi terbaik yaitu pH 8 dan waktu kontak 1 jam mampu menghilangkan 89 % kadar COD dan menurunkan kadar CN⁻ dari 51,77 mg/L menjadi 30,08 mg/L. Sementara Muktasimbillah (1997) menyatakan bahwa klorinasi menggunakan 20 mg/L klor (Cl₂) pada pH 8 dapat menurunkan kadar CN⁻ dari 2,48 mg/L menjadi 0,22 mg/L. Namun, pengaruh pre-klorinasi limbah cair tapioka terhadap pengolahan sistem ABR belum pernah dikaji.

Penelitian pengolahan limbah cair tapioka sistem ABR terdahulu pun masih mengindikasikan belum berjalannya proses dengan baik. Pengaturan pH pada kondisi netral dalam pengolahan limbah pati hanya tercatat mampu menurunkan kadar COD dari nilai 6526-6875 mg/L hingga menjadi 2150-2650 mg/L (Movahedyan et al., 2007). Kadar COD efluen tersebut masih berada di atas 1000 mg/L sehingga membuat proses pengolahan lanjutan aerasi lumpur aktif tidak berjalan optimal (Davis and Cornell, 1991). Penurunan kadar COD limbah cair tapioka juga dapat menurun dari 92 % menjadi 83 % jika kadar COD influen ditingkatkan dari 2000-5000 mg/L menjadi 7000 mg/L (Ferraz et al., 2009).

Kajian lebih lanjut mengenai pengaruh pengaturan pH dan pre-klorinasi *fresh feed* terhadap proses aklimatisasi dan kualitas efluen pengolahan limbah cair tapioka sistem ABR perlu dilakukan. Dengan adanya proses penurunan kadar CN^- sebelum limbah diproses dalam pengolahan biologi, diharapkan aktivitas mikroba dalam menurunkan kadar polutan menjadi lebih cepat. Sementara, pengaturan pH bertujuan supaya proses pre-klorinasi menjadi lebih efektif dan mencegah terjadinya penurunan aktivitas mikroba akibat karakter pH limbah yang rendah.

Kajian dalam pengolahan limbah cair tapioka sistem ABR pada penelitian ini ditinjau dari :

1. Bagaimana pengaruh pengaturan pH dan proses pre-klorinasi *fresh feed* terhadap waktu aklimatisasi diperlukan untuk mencapai kondisi *steady state* ?
2. Bagaimana pengaruh pengaturan pH dan proses pre-klorinasi *fresh feed* terhadap kualitas efluen ?
3. Bagaimana pengaruh pengaturan pH dan proses pre-klorinasi *fresh feed* terhadap besarnya nilai parameter kinetika reaksi ?

1.2. Tujuan Penelitian

Secara umum, tujuan penelitian ini adalah untuk mengkaji kinerja pengolahan limbah cair tapioka metode ABR guna peningkatan efisiensi pengolahan limbah cair tapioka yang sudah ada.

Secara lebih spesifik, tujuan penelitian ini adalah untuk :

- a. Mengkaji pengaruh pengaturan pH dan pre-klorinasi *fresh feed* terhadap waktu aklimatisasi.

- b. Mengkaji pengaruh pengaturan pH dan pre-klorinasi *fresh feed* terhadap kualitas efluen pengolahan limbah cair tapioka sistem ABR.
- c. Dapat mengestimasi nilai parameter kinetika reaksi dengan melakukan pengamatan terhadap fenomena yang terjadi selama proses aklimatisasi.

1.3. Batasan Masalah

Untuk dapat lebih fokus dalam mencapai tujuan penelitian dan karena keterbatasan waktu, maka ditetapkan batasan masalah sebagai berikut :

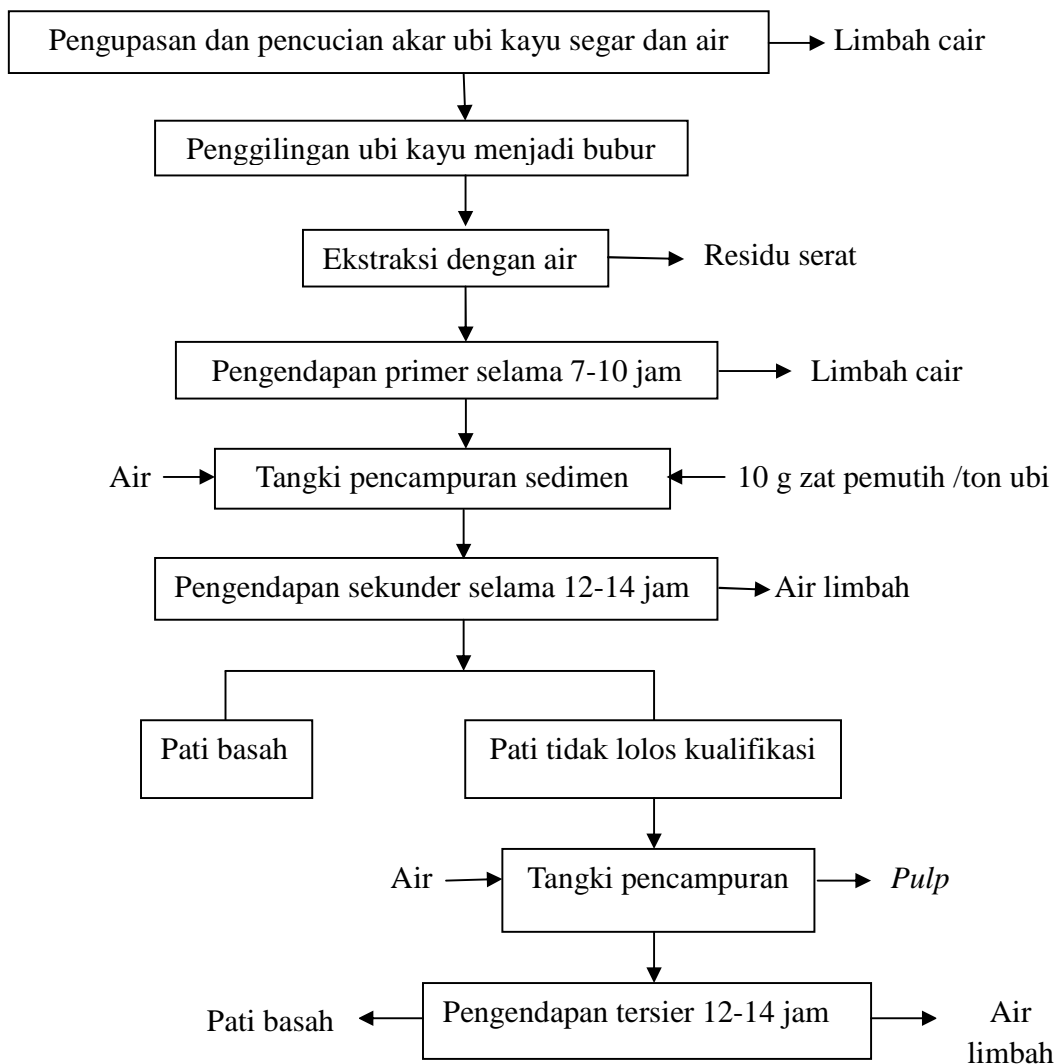
- a. Penentuan dosis kaporit hanya dilakukan berdasarkan stoikiometri reaksi.
- b. Tidak akan dilakukan variasi waktu tinggal limbah cair tapioka pada operasi kontinu sistem ABR.
- c. Kualitas efluen yang dianalisa terdiri dari parameter kualitas air yang terdapat dalam Peraturan Daerah Propinsi Jateng No 10 Tahun 2004.
- d. Perbandingan kualitas efluen antara proses aklimatisasi *batch* dan operasi kontinu hanya dilakukan pada kondisi saat dihasilkan kadar COD efluen stabil.

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1. Proses Industri Tapioka

Secara singkat, proses pembuatan tepung tapioka dapat dilihat pada diagram alir proses produksi tapioka skala industri rumah tangga yang memproses 4-5 ton umbi kayu untuk memproduksi 1-1,4 ton tepung basah di Gambar 2.1.



Gambar 2.1. Skema proses industri tapioka skala rumah tangga (Mai, 2006)

2.2. Karakteristik Limbah Cair Tapioka

Industri tapioka dapat menghasilkan 12 m³ air limbah tiap produksi 1 ton tapioka (Mai, 2006) dengan 75 % air limbah dihasilkan dari tahapan ekstraksi (Setyawati et al., 2011). Air limbah industri tapioka bersifat asam. Hal tersebut disebabkan adanya pelepasan HCN oleh akar tapioka dan penambahan H₂SO₄ pada proses ekstraksi (Seejuhn, 2002).

Kadar organik air limbah pencucian akar ubi kayu tercatat lebih rendah dibandingkan air limbah proses ekstraksi. Sementara air limbah tahapan ekstraksi tercatat mengandung kadar COD dan *Total Suspended Solid* (TSS) tinggi dengan bagian terbesar TSS berupa senyawa organik yang komponen utamanya berupa serat (Seejuhn, 2002).

Selain itu, limbah cair tapioka proses ekstraksi dengan kadar COD 33600-38223 mg/L tercatat mengandung 425-1850 mg/L glukosa dan 22614-29725 mg/L gula yang dapat dihidrolisis menjadi glukosa (Mai, 2006). CH₃COOH juga teridentifikasi menjadi satu-satunya komponen asam lemak volatil dalam limbah cair tapioka hasil ekstraksi pati dengan kadar 9,5 % total COD. Protein dan lemak pun terdeteksi menjadi komponen penyusun COD air limbah tapioka dengan kadar rata-rata secara berurutan sebesar 0,4 % dan 1 % (Zaher, 2005).

Secara ringkas, karakteristik limbah cair tapioka disajikan dalam Tabel 2.1, Tabel 2.2 dan Tabel 2.3.

Tabel 2.1. Karakteristik limbah cair tapioka (Mai, 2006; Racho, 2009)

Karakteristik	Pencucian ubi kayu	Proses ekstraksi	Kombinasi
pH	6,5-7,5	4,5-4,7	4,5-5,6
TSS (mg/L)	550-700	4000-6600	4000-4300
COD (mg/L)	100-150	3870-6670	5631-6409
BOD ₅ (mg/L)	40-60	3400-6018	4600-5200
Total Nitrogen (mg/L)	30-38	65-74	66-72
Total Phosphat (mg/L)	1-1,4	5,6-6,3	5,8-6,4
CN ⁻ (mg/L)	-	30-36	10

Tabel 2.2. Kandungan nutrisi limbah cair tapioka (Setyawati et al., 2011)

Nutrien	Kadar tiap 100 g limbah cair tapioka
Karbohidrat	25-37 g
Lemak	0,19 g
Serat	1,2 g
Protein	0,91 g

Tabel 2.3. Komposisi *Total Solid* (TS) limbah cair tapioka (Wang et al., 2012)

Parameter	Unit	Kisaran nilai
<i>Volatile Solid</i>	g/g TS	0,97
Abu	g/g TS	0,03
Pati	g/g TS	0,6
Selulosa	g/g TS	0,18
Hemiselulosa	g/g TS	0,05
Lignin	g/g TS	0,04
Total Kjeldahl Nitrogen	g/g TS	5,45
COD	mg/g TS	1012,36

Tingginya kadar karbohidrat dalam limbah cair industri tapioka menunjukkan bahwa limbah bersifat mudah dibiodegradasi. Namun, selulosa tidak dapat dibiodegradasi dengan cepat dan mudah. Laju biodegradasi anaerob selulosa juga akan menjadi semakin lambat dengan keberadaan lignin. Sementara lemak bersifat sulit terlarut pada kondisi asam sehingga menyulitkan proses hidrolisis (Zaher, 2005).

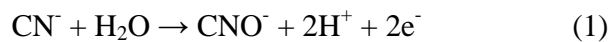
2.3. Penghilangan Kadar CN⁻

Ubi kayu merupakan tanaman yang mengandung *cyanoglucoside* yang disintesis dalam daun dan disimpan dalam seluruh bagian tanaman. *Cyanoglycoside* selanjutnya secara cepat akan diuraikan menjadi glukosa, aseton dan CN⁻ melalui proses hidrolisis enzimatik. Tiap gram akar ubi kayu dapat mengandung 25-450 µg CN⁻ tergantung varietas ubi kayu (Mai, 2006). Kadar CN⁻ dalam air limbah industri tapioka tercatat dapat mencapai 200 mg/L (Kaewkannetra et al., 2009).

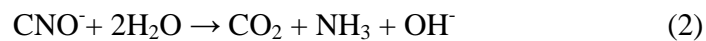
2.3.1. Oksidasi Biologi CN⁻

CN⁻ dapat dijadikan sebagai sumber karbon dan nitrogen untuk mendukung pertumbuhan mikroba (Hooi, 2009). Beberapa jenis mikroba seperti *Bacillus*, *Pseudomonas* dan *Klebsiella oxytoca* tercatat mampu membiodegradasi CN⁻ pada lingkungan anaerob dan aerob (Kaewkannetra et al., 2009). Besar laju biodegradasi CN⁻ akan dipengaruhi oleh faktor-faktor seperti pH, jumlah inokulum, temperatur, konsentrasi CN⁻ awal, pengadukan dan salinitas (Panos and Bellini, 1999). Laju biodegradasi CN⁻ dapat menurun dengan adanya peningkatan kadar CN⁻ dan pada kondisi sistem di luar kisaran pH 7-9 (Ebbs, 2004).

Dalam kondisi asam, CN⁻ dapat dikonversi membentuk sianat (CNO⁻) dengan laju reaksi yang sangat lambat menurut reaksi dalam Persamaan 1 :



Selanjutnya, CNO⁻ terbentuk akan terhidrolisis menjadi karbondioksida (CO₂) dan ammonia (NH₃) secara cepat menurut reaksi seperti tersaji dalam Persamaan 2.



Sementara pada kondisi basa, CN⁻ akan beraksi dengan molekul air menghasilkan format (HCOO⁻) dan NH₃ menurut Persamaan 3.



(Nsimba, 2009).

Asam format terbentuk dapat dijadikan substrat oleh bakteri *hydrogenotroph methanogen* (Aiyuk et al., 2006) dengan adanya proses hidrolisis menjadi hidrogen (H₂) sesuai Persamaan 4.

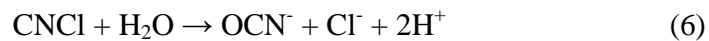


(Zaher, 2005).

Meskipun CN⁻ dapat diturunkan konsentrasinya melalui proses biodegradasi anaerob, keberadaan CN⁻ juga berpotensi menghambat proses pengolahan biologi (ASTi, 2000). Penambahan 5 mg/L CN⁻ terbukti dapat menurunkan kemampuan penghilangan COD *anaerobic digestion* dari 95 % hingga turun drastis mencapai nilai di bawah 10 % (Gijzen et al., 1999).

2.3.2. Klorinasi CN⁻

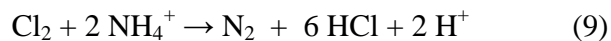
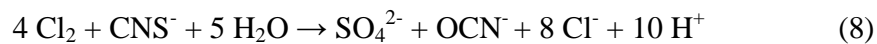
Jika kadar CN⁻ terlalu tinggi untuk dioksidasi biologi, salah satu teknik yang umum digunakan adalah klorinasi pada pH tinggi menurut reaksi yang terjadi secara bertahap menurut Persamaan 5, 6 dan 7.



(Botz, 2002).

Dosis bahan kimia teoritis yang diperlukan untuk mengoksidasi 1 gram CN^- menjadi CNO^- adalah 2,73 gram klor (Cl_2) (Botz, 2002) dan 3,1 g NaOH (Sugiharto, 1987). Sementara jika digunakan $\text{Ca}(\text{OH})_2$ untuk mengatur pH, maka 1,225 gram $\text{Ca}(\text{OH})_2$ akan diperlukan untuk menetralkan penurunan pH yang dihasilkan oleh penambahan 1 g Cl_2 (ASTi, 2000).

Peningkatan konsumsi Cl_2 dapat terjadi dengan adanya oksidasi tiosianat (CNS^-) dan NH_4^+ yang akan terjadi menurut reaksi seperti tersaji di Persamaan 8 dan 9 berikut :



(Botz, 2002; Reynolds, 1986)

Secara praktek, reaksi klorinasi memerlukan dosis Cl_2 yang berkisar antara 3-8 gram Cl_2 tiap 1 gram CN^- dioksidasi (Botz, 2002). Riyanti dkk. (2010) menyebutkan bahwa 6,82 g Cl_2 akan diperlukan untuk mengoksidasi 1 g CN^- . Penambahan Cl_2 yang dilakukan juga dapat menurunkan kandungan BOD dan COD. Umumnya, penambahan 1-3 lb Cl_2 dapat menghilangkan 1 lb BOD. Sementara dosis Cl_2 yang diperlukan untuk menurunkan 1 lb COD berkisar antara 3-8 g Cl_2 (Armenante, 1999).

Kelemahan proses klorinasi adalah dengan adanya sejumlah besar lumpur yang dapat dihasilkan. Selain itu, hipoklorit berlebih juga bersifat toksik (Parga et al., 2003). Hal lain yang perlu diperhatikan adalah menjaga supaya tidak terjadi klorinasi berlebih sampai pada level yang dapat membunuh bakteri. Dosis awal Cl_2 yang biasa digunakan adalah 6 mg/L. Sementara konsentrasi Cl_2 bebas yang diijinkan yaitu kurang dari 0.5 mg/L (Chemaqua, 2010).

Hal lain yang perlu diwaspadai adalah bahwa reaksi antara senyawa organik dan Cl_2 dapat membentuk Tri Halo Metana (THM) dan produk samping klorinasi lain yang bersifat karsinogenik (Snoeyink and Jenkins, 1979). Level maksimum THM yang diijinkan dalam air minum menurut *European Union* pada Tahun 2008 sebesar 150 $\mu\text{g/L}$ (Iriarte et al., 2003). Namun, reaksi Cl_2 dengan senyawa organik berikatan rangkap seperti aseton, karbohidrat, lemak dan asam lemak akan berlangsung sangat lambat (Snoeyink and Jenkins, 1979).

2.4. Pengolahan Biologi

Pengolahan biologi merupakan suatu jenis pengolahan yang memanfaatkan mikroorganisme untuk mendegradasi polutan organik. Polutan organik yang dapat diukur sebagai parameter BOD atau COD dapat dijadikan sebagai substrat bagi bakteri (Hermana, 2010). Pemanfaatan substrat selanjutnya akan dapat menghasilkan penghilangan kontaminan kimia (Okpowasili and Nweke, 2005), membentuk sel mikroorganisme baru dan menghasilkan produk dekomposisi (Schuner and Jarvis, 2009).

Hal-hal yang perlu diperhatikan dalam pengolahan biologi adalah ketersediaan mikroorganisme, kontak cukup antara senyawa organik dan mikroorganisme serta pengaturan kondisi lingkungan yang sesuai untuk pertumbuhan mikroorganisme (Davis and Cornell, 1991). Air limbah yang ditangani secara biologi harus memenuhi kriteria pH 6-9, kadar minyak dan lemak kurang dari 15 mg/L, sulfida kurang dari 50 mg/L dan logam-logam berat kurang dari 1 mg/L (Setiadi dan Dewi, 2002).

Pemilihan tipe pengolahan biologi yang digunakan akan tergantung kepada aspek-aspek seperti efisiensi pengolahan diinginkan, karakter limbah, konsentrasi senyawa organik limbah, debit air limbah dan biaya (Seejuhn, 2002). Proses dekomposisi aerob dapat menghasilkan penurunan kadar COD besar dalam waktu singkat dan berpotensi rendah menimbulkan bau. Namun, aplikasi pengolahan sistem aerob untuk menangani air limbah dengan kadar BOD₅ melebihi 1000 mg/L akan menimbulkan masalah berupa kesulitan dalam men-*supply* oksigen yang cukup dan produksi lumpur besar (Davis and Cornell, 1991).

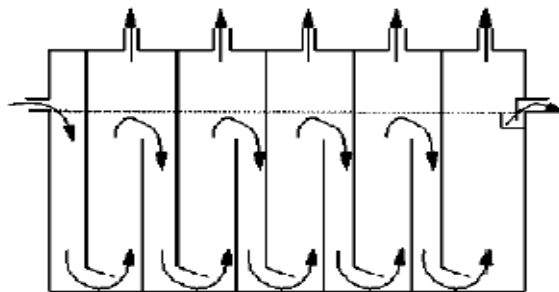
Kelebihan metode anaerob adalah bahwa produksi lumpur yang dihasilkan dekomposisi anaerob dapat hanya bernilai 10 % dibandingkan yang dihasilkan metode aerob (Aiyuk et al., 2006). Laju pembebanan organik sistem anaerob pun dimungkinkan mencapai 10-20 kali lebih tinggi dari yang dapat ditangani sistem aerob (Khanal, 2008). Operasi sistem anaerob pada waktu tinggal limbah dalam bioreaktor yang singkat dengan tetap mempertahankan umur biomass aktif yang panjang menjadi kunci keberhasilan reaktor anaerob dalam menanganai laju pembebanan organik tinggi (Mai, 2006).

Nilai laju pembebanan organik yang mampu ditangani reaktor anaerob akan tergantung kepada keberhasilan optimalisasi faktor-faktor seperti lamanya waktu tinggal lumpur aktif dalam reaktor, kecukupan kontak antara biomass aktif dan air limbah, lamanya waktu adaptasi/aklimatisasi biomass aktif dengan air limbah yang akan ditangani dan pengaturan

kondisi lingkungan supaya mikroorganismenya dalam reaktor dapat berkembang dengan baik (Schuner and Jarvis, 2009).

2.5. Anaerobic Baffled Reactor (ABR)

ABR merupakan suatu jenis reaktor anaerob laju tinggi yang terdiri dari beberapa kompartemen bervolume sama. Antar tiap kompartemen ABR dipisahkan oleh *hanging* dan *standing baffle* secara selang-seling yang berfungsi memaksa cairan mengalir ke atas dan ke bawah pada tiap kompartemen untuk meningkatkan kontak antara air limbah dan mikroorganismenya dalam selimut lumpur pada tiap dasar kompartemen (Hudson, 2010).



Gambar 2.2. Skema ABR (Foxon et al., 2006)

2.5.1. Kelebihan dan Kelemahan ABR

Reaktor ABR mempunyai beberapa kelebihan dibandingkan jenis reaktor anaerob lain. Keunggulan-keunggulan tersebut di antaranya adalah :

a. Sistem desain

Biaya konstruksi ABR tercatat 20 % lebih rendah dibandingkan reaktor *Upflow Anaerobic Sludge Blanket* (UASB) (Mrafkova et al., 2000). Desain konstruksi yang dimiliki memungkinkan untuk menghindari terperangkapnya gas dalam partikel lumpur yang dapat mengakibatkan terangkatnya partikel lumpur dan efek turbulensi yang merusak sedimen (Rahayu dan Purnavita, 2008). Produksi lumpur yang hanya bernilai sekitar 0,03 g sel/g substrat (Stuckey et al., 2000) membuat tidak diperlukan proses sedimentasi akhir (Smith and Scott, 2005).

b. Efisiensi pengolahan

Sistem ABR mampu menurunkan 70-90 % BOD dan 72-95 % COD (Foxon et al., 2006). Operasi ABR 2 *baffle* juga dapat berlangsung dalam waktu tinggal 2 kali lebih singkat dibanding jika digunakan *septic tank* bervolume sama untuk dapat menghasilkan besar penurunan *Total Suspended Solid* (TSS), COD dan BOD sama (Koottatep et al., 2004). Waktu tinggal dibutuhkan pengoperasian ABR pun 39 % lebih singkat dibandingkan UASB (Krishna and Kumar, 2007).

c. Sistem operasi

ABR bersifat lebih resisten terhadap *shocking loading* dibandingkan proses anaerob lainnya (Foxon et al., 2006). Penurunan performa yang ditimbulkan akibat adanya *shocking loading* juga memerlukan waktu lebih singkat untuk kembali ke operasi normal dibandingkan sistem anaerob lain karena kecilnya kemungkinan terjadinya *wash out* (Khanal, 2008).

Namun, ABR juga mempunyai kelemahan yaitu rendahnya efisiensi penghilangan TSS yang kurang baik, yaitu berkisar antara 40-70 %. Zat padat dengan densitas yang mendekati densitas air juga akan terbawa keluar dari kompartemen pertama dan terbawa keluar reaktor bersama dengan efluen. Proses penghilangan kadar TSS influen dapat membuat terjadi penurunan 97 % COD dan 98 % BOD pada sistem *anaerobic digestion* (Indriani dan Herumurti, 2010).

2.5.2. Variabel Desain ABR

Variabel-variabel yang perlu diperhatikan dalam desain sistem ABR antara lain :

a. Kecepatan aliran

Kecepatan aliran ke atas setelah kompartemen pertama tidak boleh melebihi $2 \text{ m}^3/\text{m}^2/\text{jam}$. Hal tersebut dapat diatasi dengan mendesain ABR yang mempunyai luas penampang besar dan kedalaman dangkal (Rahayu dan Purnavita, 2008). Cara tersebut dilakukan untuk menjamin 95 % padatan tetap tinggal dalam kompartemen guna mengurangi kemungkinan *wash out* dan mendukung populasi mikroba yang mampu menangani *anaerobic digestion* 2 fase (Foxon et al., 2001).

b. Dimensi reaktor

Agar influen limbah terdistribusi merata dan kontak dengan mikroorganisme efisien, lebar reaktor dianjurkan berkisar antara 0,5-0,6 kedalamannya (Rahayu dan Purnavita, 2008).

c. *Hydraulic Retention Time (HRT)*

Nilai HRT terlalu kecil dapat mengakibatkan terjadinya laju pertumbuhan bakteri yang tidak cukup untuk menghilangkan polutan (Schuner and Jarvis, 2009). HRT dipersyaratkan dalam pengoperasian ABR adalah lebih dari 8 jam (Indriani dan Herumurti, 2010). Dengan memperpanjang HRT, kemungkinan terjadinya *wash out* menjadi makin kecil. Perbaikan proses hidrolisis senyawa organik dan pembentukan lumpur anaerob yang lebih stabil juga dapat dilakukan dengan menambah waktu kontak antara limbah dan mikroorganisme (Pillay et al., 2006).

2.5.3. Mekanisme Pengolahan ABR

ABR menggabungkan proses sedimentasi dan penguraian lumpur secara parsial dalam satu kompartemen dengan mekanisme kerja yang terdiri dari :

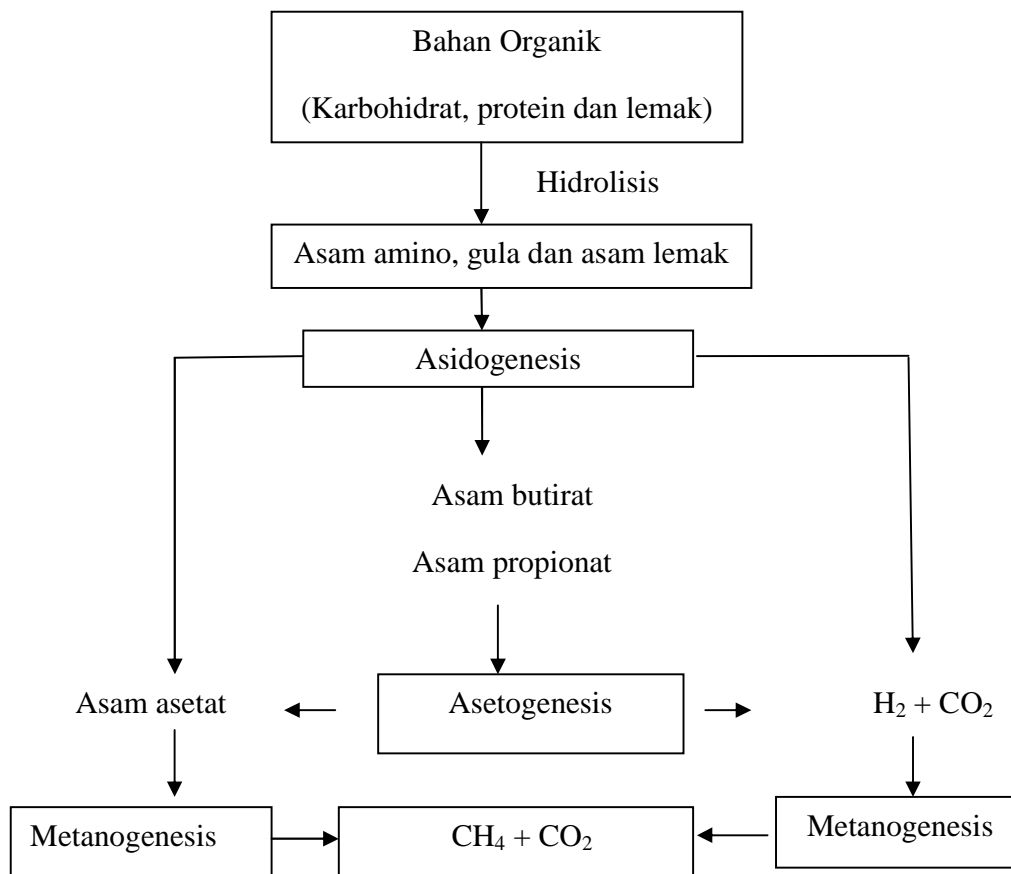
- a. Pengendapan dan pengapungan padatan.
- b. *Anaerobic digestion* padatan terlarut dan tersuspensi melalui kontak antara lumpur anaerob pada dasar kompartemen dengan air limbah.
- c. *Anaerobic digestion* lumpur yang berada dalam dasar tangki dan sedimentasi partikel yang telah terstabilisasi.

(Mang, 2011)

2.5.4. Reaksi Biokimia ABR

2.5.4.1. *Anaerobic Digestion*

Anaerobic digestion merupakan proses konversi bertahap senyawa organik menjadi CH₄ dan karbondioksida (CO₂) melalui reaksi hidrolisis, asidogenik, asetogenesis dan metanogenesis (Appels et al., 2008) seperti tersaji di Gambar 2.3.



Gambar 2.3. Skema proses *anaerobic digestion* (Alexiou, 1998)

Degradasi anaerob senyawa organik yang efisien dan stabil akan terjadi jika terjadi keseimbangan laju metabolisme antara bakteri pembentuk asam dan bakteri pembentuk CH₄ (Yu and Fang, 2003). Ketidakseimbangan yang dapat disebabkan karena pembebanan organik berlebih (Tabatabaei et al., 2011) ataupun perubahan kondisi operasi (Marchaim, 2009) akan memicu terjadinya akumulasi produk asam *intermediate* yang bersifat menghambat bakteri *methanogen* (Yu and Fang, 2003). Pembebanan organik berlebih pada sistem *anaerobic digestion* tercatat dapat mengakibatkan terjadinya penurunan pH drastis efluen yang dapat berakibat lanjut pada terjadinya penurunan kadar penghilangan COD dan peningkatan konsentrasi TSS efluen (Mai, 2006).

Nilai HRT, konsentrasi organik influen dan alkalinitas cairan dalam reaktor sebaiknya dikontrol untuk mencegah terjadinya akumulasi asam berlebih. Kondisi pH di luar kisaran nilai di mana mikroorganisme dapat tumbuh juga merupakan salah satu faktor penting yang dapat mempengaruhi besarnya kadar substrat yang dapat dibiodegradasi (Mai, 2006). Alkalinitas dalam

senyawa yang mengelilingi serat selulosa, akan membuat selulosa tidak dapat diserang oleh enzim. *Pretreatment* berupa penambahan larutan basa dapat memecah ikatan ester antara lignin, selulosa dan hemiselulosa sehingga akan terjadi proses penghilangan lignin dan penurunan kadar hemiselulosa yang berakibat lanjut pada peningkatan biodegradabilitas limbah dan peningkatan aksesibilitas enzim terhadap selulosa (Taherzadeh and Karimi, 2008).

b. Asidogenesis

Asam amino, gula dan asam lemak yang dihasilkan proses hidrolisis selanjutnya difermentasi menjadi asam lemak volatil (asam asetat, asam propionat, asam butirat) (Anonymous, 2011). Konsentrasi total asam volatil terbentuk dapat meningkat dengan adanya kenaikan nilai pembebanan organik dan keberadaan toksik (Appels et al., 2008). Penurunan nilai pH dapat berlangsung cepat seiring terjadinya konversi senyawa organik menjadi asam lemak volatil (Mai, 2006). Penurunan pH berlanjut tidak diinginkan sebab dapat mengakibatkan terjadinya peningkatan terhadap kadar COD efluen dan HRT sistem *anaerobic digestion* diperlukan (Alkarimiah et al., 2011).

Tingginya nilai alkalinitas cairan dalam sistem *anaerobic digestion* diperlukan untuk meningkatkan kemampuan netralisasi terhadap asam lemak volatil yang dihasilkan untuk mencegah terjadinya penurunan pH drastis yang dapat bersifat menghambat aktivitas *methanogen* (Hudson, 2010). Alkalinitas bikarbonat sebaiknya dijaga pada kisaran nilai 2,5-5 g/L (Alexiou, 1998).

Konsentrasi alkalinitas dalam *digester* diketahui merupakan fungsi jumlah protein dalam substrat, laju pemecahan ammonia dan HRT. Jika alkalinitas tidak tersedia cukup dalam substrat, maka dapat dilakukan pengurangan laju pembebanan organik atau penambahan bahan kimia. Penambahan senyawa kimia seperti $\text{Ca}(\text{OH})_2$ dan Na_2CO_3 dapat dilakukan untuk meningkatkan nilai pH dan alkalinitas larutan perlu dilakukan pada substrat dengan kadar alkalinitas di bawah 1000 mg/L CaCO_3 (Alexiou, 1998). Peningkatan nilai alkalinitas akan menghasilkan peningkatan laju metanogenesis yang selanjutnya berakibat pada perbaikan dalam reduksi COD (Foxon et al., 2006).

Penghentian sementara aliran influen juga dapat dilakukan untuk menghambat produksi asam pada proses asidogenesis dan memberi kesempatan populasi *methanogen* menguraikan asam lemak volatil (Marchaim, 2009). Namun, jika penurunan pH sampai ke level 3,8, maka

inhibisi bakteri penghasil H₂ tidak dapat di-*recovery* meskipun dilakukan pengurangan laju influen atau penambahan kapur (Li et al., 2007).

c. Asetogenesis

Tahapan ketiga dalam *anaerobic digestion* adalah asetogenesis, di mana asam lemak volatil selain CH₃COOH yang diproduksi asidogenesis dicerna lebih lanjut oleh bakteri asetogenik untuk memproduksi CH₃COOH, CO₂ dan H₂ (Appels et al., 2008). Bila gas H₂ dan CO₂ yang terbentuk besar, reduksi COD yang terjadi dapat mencapai nilai 10 % (Alexiou, 1998).

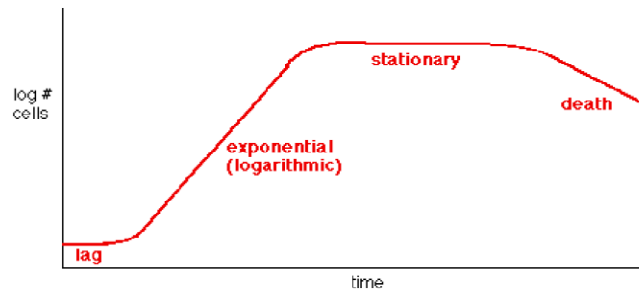
d. Metanogenesis

Produk asetogenesis selanjutnya diuraikan menjadi CH₄ dan CO₂ oleh *methanogen* melalui pemecahan CH₃COOH serta reaksi antara H₂ dan CO₂ (Appels et al., 2008). Peningkatan pH akan terjadi dalam tahapan metanogenesis. Penurunan COD terbesar akan dihasilkan dari proses konversi CH₃COOH menjadi CH₄ (Foxon et al., 2006) karena 70 % total CH₄ diproduksi dalam sistem *anaerobic digestion* dihasilkan oleh proses pemecahan CH₃COOH (Seghezzo, 2004).

Bakteri *methanogen* merupakan grup bakteri yang bersifat paling sensitif terhadap oksigen dan pH. Oksigen terlarut berkadar 0,01 mg/l sudah dapat menghambat pertumbuhan bakteri *methanogen* (Marchaim, 1991). Penurunan laju pertumbuhan *methanogen* terjadi signifikan pada kondisi di luar kisaran pH 6,5-8,2 (Hudson, 2010). Pada nilai pH di bawah 6, laju produksi CH₄ akan berlangsung sangat lambat (Zaher, 2005). Namun, konsentrasi NH₃ dapat menjadi semakin meningkat seiring naiknya nilai pH sehingga dapat menghambat aktivitas *methanogen* terutama yang berperan mengkonversi CH₃COOH menjadi CH₄ dan mengakibatkan kondisi di mana proses berjalan stabil namun dengan laju produksi CH₄ rendah (Seghezzo, 2004).

2.6. Pertumbuhan Mikroorganisme

Kurva pertumbuhan mikroorganisme mendeskripsikan tahapan pertumbuhan mikroorganisme yang secara garis besar terbagi menjadi *lag phase*, *exponential phase*, *stationary phase* dan *death phase* seperti dilihat di Gambar 2.4.



Gambar 2.4. Fase pertumbuhan mikroba kultur *batch* (Davis and Cornell, 1991)

Lag phase secara umum terjadi bila sel inokulum berasal dari kultur yang sudah berhenti tumbuh atau berada dalam fase stasioner karena adanya keterbatasan substrat atau inhibisi produk. Sel akan beradaptasi pada kondisi pH dan nutrien di lingkungan baru untuk menyesuaikan sistem metabolisme yang akan dilakukan. Lama *lag phase* bervariasi tergantung kepada umur dan jumlah inokulum. Aktivitas metabolisme yang akan menambah jumlah sel terjadi pada akhir fase adaptasi (Reynolds, 1986).

Lag phase selanjutnya diikuti peningkatan laju pertumbuhan sel sampai mencapai percepatan pertumbuhan maksimal dalam *logarithmic* atau *exponential phase* (Tchobanoglous et al., 2003). Pada saat masuk fase stasioner, makanan tersedia hanya cukup untuk menjaga supaya laju pertumbuhan massa sel sama dengan laju kematiannya (State of Maine, 2009). Saat nutrisi berkurang atau terjadi akumulasi beberapa produk yang dapat bertindak sebagai inhibitor, nilai laju pertumbuhan mikroorganisme berkurang (Gerber, 2008).

Bila tidak ada makanan, maka akan terjadi fase kematian yang dapat ditandai dengan terjadinya pengurangan padatan mikroba (Sani, 2006) akibat adanya sel-sel lisis (keluarnya produk/isi sel). Isi sel lisis selanjutnya dapat menjadi nutrisi bagi sebagian sel yang masih hidup sehingga terjadi pertumbuhan baru (Wibowo, 2009).

2.7. Kinetika Reaksi

Kinetika proses telah digunakan untuk pendeskripsian proses pengolahan biologi (Seghezzi, 2004) sebagai alat bantu desain, optimalisasi, pemenuhan kriteria efluen dan pengurangan biaya operasi dalam suatu instalasi pengolahan bioreaktor (Kalyandurg, 2003; Vanrolleghem et al., 2003). Analisa mengenai fenomena pertumbuhan dan kematian mikroorganisme serta pemanfaatan substrat yang terjadi simultan (Kalyandurg, 2003; Seghezzi,

2004) dapat digunakan untuk mendapatkan nilai koefisien kinetika seperti μ_{\max} , Kd, Ks dan Y yang berguna dalam perancangan bioreaktor (Kalyandurg, 2003).

Laju pertumbuhan mikroorganisme akan tergantung kepada kuantitas dan komposisi substrat. Peningkatan konsentrasi substrat dapat menghasilkan penurunan nilai laju pertumbuhan mikroorganisme (Gerber, 2008). Nilai parameter kinetika laju pertumbuhan mikroorganisme (μ) yang merupakan salah satu indikator tingkat biodegradabilitas proses pengolahan limbah cair (Bagus, 2008) akan dipengaruhi oleh nilai laju alir biogas, temperatur, pH dan konsentrasi senyawa organik (Srisertpol et al., 2010).

Nilai parameter μ_{\max} bermanfaat dalam penentuan waktu tinggal minimum yang merupakan titik kritis pengoperasian bioreaktor (Ahmad, 2003). Jika nilai μ_{\max} semakin tinggi, volume bioreaktor diperlukan dan konsentrasi efluen menjadi makin kecil (Mardani et al., 2011). Substrat yang sukar terdegradasi atau mikroorganisme dengan laju pertumbuhan lambat akan memberikan nilai laju pertumbuhan maksimal (μ_{\max}) kecil dan konstanta setengah jenuh (Ks) yang besar (Lou and Reyes, 2006). Nilai Ks juga diketahui mempunyai hubungan lurus dengan konsentrasi efluen substrat (Haydar and Aziz, 2009). Lumpur yang mempunyai nilai afinitas tinggi terhadap substrat atau dengan kata lain memiliki nilai Ks rendah diinginkan dalam pengolahan biologi (Seghezzi, 2004).

Sementara laju kematian mikroorganisme (Kd) yang mengindikasikan penurunan massa sel yang proporsional dengan konsentrasi mikroba pada *death phase* (Bagus, 2008) dapat turun seiring peningkatan kadar MLSS (Mardani et al., 2011). Kondisi *steady state* saat konsentrasi mikroorganisme menjadi konstan dengan adanya penambahan waktu akan tercapai pada saat nilai $\mu = Kd$ (Harder and Kuenen, 1977).

2.8. Model Kinetika Reaksi

Kinetika pertumbuhan mikroba dapat digunakan untuk memprediksi konsentrasi senyawa kimia pada waktu tertentu, kalkulasi waktu diperlukan untuk mengurangi konsentrasi kontaminan kimia sampai mencapai kadar tertentu dan jumlah mikroorganisme dihasilkan (Okpokwasili and Nweke, 2005). Dalam kultur *batch* selama *log phase*, pertumbuhan sel bakteri terjadi cepat dan proporsional terhadap massa bakteri mengikuti reaksi orde satu seperti didefinisikan Persamaan 12.

$$\frac{dX}{dt} = \mu X \quad (12)$$

Keterangan notasi :

μ = laju pertumbuhan mikroorganisme, waktu⁻¹

X = konsentrasi mikroorganisme, mg/L MLVSS

(Sundstrom and Klei, 1979)

Dalam Model Monod, laju pertumbuhan mikroorganisme dihubungkan dengan konsentrasi substrat pembatas pertumbuhan melalui parameter μ_{\max} dan K_s (Okpokwasili and Nweke, 2005). Efek pembatas substrat atau nutrisi dapat diekspresikan Kinetika Monod di Persamaan 13.

$$\mu = \frac{\mu_{\max} S}{K_s + S} - K_d \quad (13)$$

Keterangan notasi :

μ_{\max} = laju pertumbuhan mikroorganisme maksimum, hari⁻¹

S = konsentrasi substrat pembatas pertumbuhan, mg/L BOD

K_s = konsentrasi substrat pada saat nilai $\mu = 0.5 \mu_{\max}$, mg/L BOD

K_d = laju kematian mikroorganisme, hari⁻¹

(Sundstrom and Klei, 1979)

Produksi sel tiap pemanfaatan substrat atau *yield* (Y) akan naik seiring meningkatnya kadar MLVSS (Mardani et al., 2011) menurut Persamaan 14.

$$\frac{dX}{dt} = -Y \cdot \frac{dS}{dt} \quad (14)$$

(Sundstrom and Klei, 1979)

Persamaan 14 dapat juga dituliskan dalam bentuk lain seperti tersaji pada Persamaan 15.

$$X = Y \cdot (S_0 - S) + X_0 \quad (15)$$

(Robinson and Tiedje, 1983)

Pada sistem anaerob, nilai koefisien Y tidak hanya tergantung kepada kadar COD dihilangkan tetapi juga dipengaruhi oleh jenis substrat yang dimetabolisme. Karbohidrat dan protein mempunyai nilai Y yang relatif besar karena substrat ini dimetabolisme baik oleh grup *acidogen* maupun *methanogen*. Asetat yang hanya dimetabolisme oleh *methanogen* mempunyai nilai Y lebih kecil (Khanal, 2008).

2.8.1. Model Kinetika Inhibisi

2.8.1.1. Model Kinetika Inhibisi Substrat

Bila substrat menginhibisi biodegradasi, Persamaan Monod perlu dikoreksi dengan memasukkan nilai konstanta inhibisi (KI) yang merupakan konsentrasi substrat di mana laju bakteri mengalami reduksi sebesar 50 % μ_{\max} (Gerber, 2008; Okpokwasili and Nweke, 2005). Dalam Persamaan Andrew, nilai μ dengan adanya inhibisi substrat dapat dilihat di Persamaan 16.

$$\mu = \frac{\mu_{\max} \cdot S}{K_s + S + \frac{S^2}{KI}} \quad (16)$$

(Okpokwasili and Nweke, 2005)

Sedangkan, model inhibisi Persamaan Haldane ditunjukkan oleh Persamaan 17.

$$\mu = \frac{\mu_{\max} \cdot S}{(K_s + S) \left(1 + \frac{I}{KI}\right)} \quad (17)$$

(Sundstrom and Klei, 1979)

2.8.1.2. Model Kinetika Inhibisi Akibat Efek pH

Hubungan pH dan laju pertumbuhan bakteri dapat dirumuskan dalam suatu persamaan parabolik seperti ditunjukkan oleh Persamaan 18.

$$\mu (\text{pH}) = a \cdot \text{pH}^2 + b \cdot \text{pH} + c \quad (18)$$

dengan a, b dan c yang merupakan suatu konstanta.

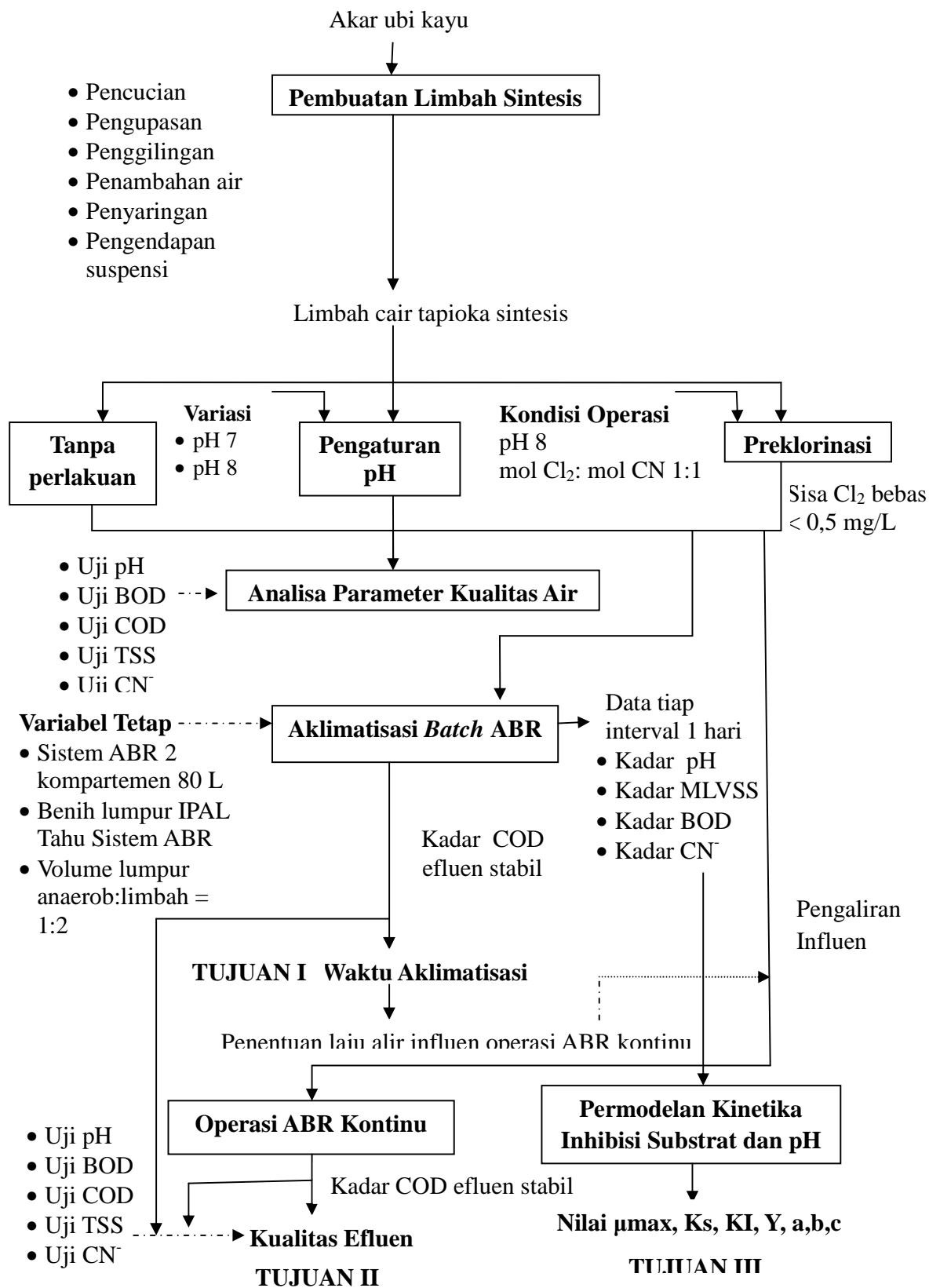
(Gerber, 2008)

BAB III

METODE PENELITIAN

3.1. Rancangan Penelitian

Secara garis besar, penelitian ini terbagi menjadi tahapan *pre-treatment*, aklimatisasi *batch* sampai tercapai *steady state* dan aplikasi operasi kontinu. Tahapan *pre-treatment* meliputi proses pembuatan limbah cair tapioka sintesis yang kemudian dilanjutkan dengan proses pengaturan pH dan pre-klorinasi terhadap limbah cair tapioka sintesis sebelum digunakan sebagai influen ABR. Karakterisasi influen ABR dilakukan sebelum proses aklimatisasi berlangsung dengan menganalisa kadar parameter yang terdapat dalam baku mutu limbah cair untuk industri tapioka menurut Peraturan Daerah Propinsi Jateng No 10 Tahun 2004 yaitu pH, COD, BOD, CN^- dan TSS. Proses aklimatisasi dilakukan secara *batch* guna menentukan waktu yang diperlukan untuk mencapai kadar COD stabil guna penetapan nilai HRT pada aplikasi operasi kontinu. Data kadar pH, BOD, MLVSS dan CN^- tiap interval waktu 1 hari selama proses aklimatisasi juga digunakan untuk mengestimasi nilai parameter-parameter kinetika reaksi berupa laju pertumbuhan mikroorganisme (μ_{max}), konstanta setengah jenuh (K_s), konstanta inhibisi (KI), laju penurunan kadar CN^- (k), yield (Y) dan konstanta inhibisi pH (a, b dan c). Estimasi dilakukan menggunakan model kinetika inhibisi substrat dan pH dengan bantuan Program MATLAB 7.1. hingga diperoleh estimasi kadar pH, BOD, MLVSS dan CN^- yang mendekati data eksperimen. Aplikasi operasi kontinu selanjutnya dilakukan guna memperoleh kualitas efluen (kadar pH, BOD, COD, CN^- dan TSS) yang diukur pada saat kadar COD efluen stabil. Untuk memperjelas alur penelitian, skema tahapan penelitian disajikan dalam Gambar 3.1.



Gambar 3.1. Skema tahapan penelitian

3.2. Waktu dan Tempat

Penelitian ini dilaksanakan di Laboratorium Pengolahan Limbah Jurusan Teknik Kimia Universitas Diponegoro, Semarang pada bulan Desember 2011–Juni 2012.

3.3. Bahan dan Alat

3.3.1. Bahan yang Digunakan

Bahan yang akan digunakan dalam penelitian meliputi :

- a. Sampel limbah cair tapioka sintesis
- b. Lumpur anaerob IPAL sistem ABR limbah cair tahu di Daerah Lamper, Semarang
- c. *Aquadest*
- d. Kaporit atau $\text{Ca}(\text{OCl})_2$ teknis
- e. CaO teknis

3.3.2. Alat yang Digunakan

Alat yang akan digunakan meliputi ;

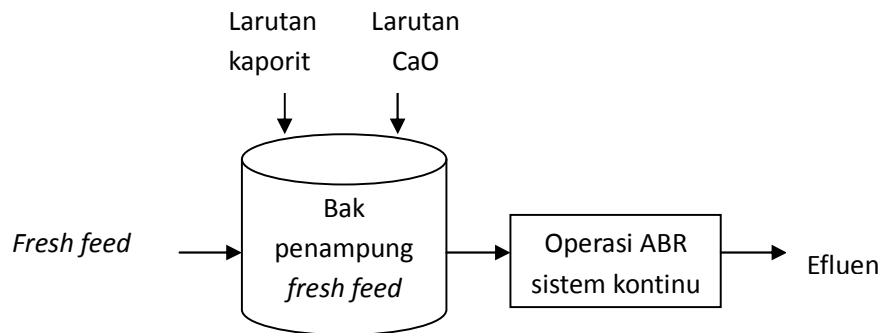
A. Rangkaian Alat Pengolahan

Alat pengolahan terdiri dari :

- a. Bak penampung *fresh feed* dengan kapasitas 130 L
- b. Bak ABR *plexiglas* berukuran 80 cm x 40 cm x 25 cm



Gambar 3.2. Bak ABR



Gambar 3.3. Skema sistem pengolahan

B. Alat Analisa Sampel

Alat analisa sampel terdiri dari :

- a. pH meter
- b. Komparator klor
- c. Labu ukur
- d. Pipet volume
- e. Buret
- f. *Beaker glass*
- g. Oven
- h. *Furnace*
- i. Inkubator
- j. Botol COD
- k. Botol BOD
- l. Kertas saring Whatman 42
- m. Corong
- n. Motor pengaduk
- o. Spektrofotometer

3.4. Rancangan Variabel

Variabel proses yang dikaji pada pengolahan limbah cair tapioka menggunakan sistem ABR ini yaitu kondisi pH influen limbah dan aplikasi proses pre-klorinasi yang dalam penelitian ini dilakukan dengan penambahan kaporit berdasar rasio mol $\text{Cl}_2:\text{CN}^- = 1:1$ pada kondisi operasi pH 8. Percobaan ini terdiri dari 16 run percobaan dengan rancangan seperti terlihat dalam Tabel 3.1., 3.2., 3.3. dan 3.4.

Variabel tetap dalam penelitian ini adalah sebagai berikut :

- Bioreaktor digunakan = sistem ABR 2 kompartemen bervolume total 80 L.
- Benih lumpur IPAL Tahu Sistem ABR.
- Volume lumpur anaerob:limbah = 1:2.

Tabel 3.1. Rancangan variabel penentuan waktu aklimatisasi *batch*

Run	Variabel Proses		Frekuensi Pengukuran	Parameter diukur	Hasil
	pH influen	Kebutuhan mol $\text{Cl}_2/\text{mol CN}^-$			
1	tanpa diatur pH	0	tiap interval 1 hari operasi	Kadar COD	Waktu aklimatisasi untuk memperoleh kadar COD stabil
2	pH 7	0	aklimatisasi <i>batch</i>		
3	pH 8	0			
4	pH 8	1			

Tabel 3.2. Rancangan variabel perbandingan kualitas efluen aklimatisasi *batch*

Run	Variabel Proses		Waktu Pengukuran	Parameter diukur	Hasil
	pH influen	Kebutuhan mol $\text{Cl}_2/\text{mol CN}^-$			
5	tanpa diatur pH	0	waktu aklimatisasi untuk memperoleh kadar COD stabil	Kadar pH, COD, BOD, TSS dan CN^-	Kualitas efluen
6	pH 7	0			
7	pH 8	0			
8	pH 8	1			

Tabel 3.3. Rancangan variabel perbandingan kualitas efluen operasi kontinu

Run	Variabel Proses		Waktu Pengukuran	Parameter diukur	Hasil
	pH influen	Kebutuhan mol $\text{Cl}_2/\text{mol CN}^-$			
9	tanpa diatur pH	0	Waktu aklimatisasi batch diperlukan	waktu saat diperoleh kadar COD stabil	Kadar pH, COD, BOD, TSS dan CN^-
10	pH 7	0			
11	pH 8	0			
12	pH 8	1			

Tabel 3.4. Rancangan variabel penentuan parameter kinetika reaksi

Run	Variabel Proses		Frekuensi Pengukuran	Parameter diukur	Hasil
	pH influen	Kebutuhan mol $\text{Cl}_2/\text{mol CN}^-$			
13	tanpa diatur pH	0	tiap interval 1 hari operasi	Kadar pH, BOD, MLVSS dan CN^-	μ_{\max} , K_s , KI, Y, a,b,c
14	pH 7	0			
15	pH 8	0			
16	pH 8	1	<i>batch</i>		

3.5. Prosedur Penelitian

Prosedur penelitian yang akan dilakukan pada dasarnya terdiri dari 2 tahapan utama yaitu penelitian pendahuluan dan penelitian utama.

3.5.1. Penelitian Pendahuluan

3.5.1.1. Preparasi Bahan

A. Pembuatan limbah cair tapioka sintesis

Bahan baku yang diperlukan dalam penelitian ini adalah limbah cair tapioka sintesis dengan pertimbangan untuk menghindari terjadinya perubahan kualitas signifikan yang dapat terjadi akibat proses transportasi limbah dari industri tapioka ke laboratorium penelitian.

Ubi kayu bahan baku limbah sintesis yang digunakan dalam penelitian adalah ubi kayu bahan baku industri tapioka di Pati, Jawa Tengah yang sampel limbah cairnya diambil untuk

disesuaikan kadarnya dengan limbah cair sintesis. Selanjutnya, penetapan rasio perbandingan antara kg ubi kayu dan L air digunakan dilakukan berdasarkan hasil pengamatan pada proses pembuatan tapioka pada industri di Pati, Jawa Tengah dan penyesuaian antara kadar COD, BOD, TSS, pH dan CN⁻ antara limbah cair tapioka sintesis dan limbah cair tapioka buangan industri tapioka. Berdasarkan hal-hal tersebut, maka limbah cair tapioka sintesis yang digunakan dalam penelitian ini dibuat dengan cara :

- a. Kupas kulit luar 0,5 kg ubi kayu segar yang sudah dicuci bersih (\pm 10 % berat ubi kayu).
- b. Umbi diparut halus atau digiling dengan mesin penggiling menjadi bubur.
- c. Bubur ditambah dengan 20 L air.
- d. Aduk-aduk agar lebih banyak pati yang terlepas dari sel umbi.
- e. Bubur umbi disaring sehingga pati lolos dari saringan sebagai suspensi.
- f. Suspensi pati ini ditampung pada wadah pengendapan dan dibiarkan selama 12 jam.
- g. Cairan di atas pasta pati ditampung untuk digunakan sebagai limbah cair tapioka sintesis.

B. Pembuatan Larutan Induk Kaporit 0,1 %

Larutan kaporit 0,1 % dibuat dengan cara :

- a. Masukkan 1 gram kaporit ke dalam labu ukur 1000 ml.
- b. Tepatkan volumenya sampai tanda batas dengan aquadest.
- c. Aduk larutan.
- d. Pindahkan larutan ke dalam botol plastik.
- e. Diamkan larutan satu hari sebelum digunakan.

Catatan : Gunakan bagian larutan kaporit yang beningnya saja (endapan jangan diambil/terbawa).

C. Pembuatan CaO 1 %

CaO 1 % dibuat dengan mencampur 10 gram CaO dengan 1 L air. Untuk menghindari penyumbatan aliran influen pada operasi ABR sistem kontinu yang akan membuat laju alir, menjadi berkurang dari nilai yang ditetapkan, maka digunakan hanya cairan yang tidak ikut mengendap setelah proses pengendapan campuran CaO dan air.

3.5.1.2. Analisa Kualitas Awal Limbah

Analisa kualitas awal limbah dilakukan pada setiap awal pengoperasian pengolahan sistem ABR untuk mengetahui karakter limbah cair tapioka sintesis yang akan digunakan sebagai

influen proses pengolahan. Hal tersebut diperlukan untuk dapat menjamin kualitas awal limbah cair tapioka sintesis yang diolah dalam tiap variasi *run* selalu bernilai sama. Karakter limbah yang dianalisa meliputi parameter yang terdapat dalam baku mutu limbah cair untuk industri tapioka menurut Peraturan Daerah Propinsi Jateng No 10 Tahun 2004 yang terdiri dari pH, COD, BOD, CN⁻ dan TSS.

Analisa kadar COD dan BOD dipilih sebagai representasi kadar senyawa organik dalam limbah. Analisa COD yang dapat berlangsung cepat dengan ketelitian hasil analisa tidak akan terpengaruh dengan adanya gangguan zat beracun (Alaerts dan Santika, 1984) dilakukan dalam penelitian ini menggunakan metode titrimetri mengacu pada SNI 06-6989 15-2004 dengan prosedur lengkap tersaji di Lampiran 1.

Sementara kadar BOD yang merupakan suatu pendekatan empiris proses mikrobiologi secara global yang benar-benar terjadi dalam air (Alaerts dan Santika, 1984) dianalisa menggunakan metode Winkler dengan cara kerja lengkap dapat dilihat di Lampiran 2. Kadar COD dan BOD selanjutnya juga dapat digunakan untuk menghitung nilai rasio BOD/COD untuk membandingkan gambaran tingkat biodegradabilitas limbah.

pH perlu dianalisa mengingat bahwa keberhasilan suatu proses pengolahan biologi akan sangat tergantung pada kondisi pH-nya (Spanjers and Lier, 2006). Pengukuran pH dilakukan dengan menggunakan pH meter. Sementara CN⁻ dipilih untuk dianalisa karena ia merupakan senyawa beracun dalam limbah cair tapioka yang dapat menghambat proses pengolahan biologi. Kadar CN⁻ juga perlu diketahui guna penetapan jumlah kaporit diperlukan proses pre-klorinasi influen. Uji analisa CN⁻ dilakukan menggunakan metode spektrofotometri berdasar SNI 6989.77:2011 dengan cara kerja lengkap seperti tersaji di Lampiran 3.

3.5.1.3. Perhitungan Kebutuhan Bahan Kimia

Kebutuhan CaO 1 % pada proses pengaturan pH ditentukan dengan menitrasi campuran 100 ml *fresh feed* dengan CaO 1 % hingga diperoleh pH sampel sesuai nilai diinginkan. Sementara kebutuhan CaO 1 % pada proses pre-klorinasi ditentukan dengan menitrasi campuran 100 ml *fresh feed* dan larutan kaporit 0,1 % sesuai perhitungan kebutuhan hingga diperoleh pH sampel 8.

Berdasarkan stoikiometri reaksi pre-klorinasi CN⁻ yang secara ringkas terjadi menurut Persamaan 19 berikut :



(Botz, 2002)

penentuan dosis kaporit 0,1 % yang ditambahkan dalam limbah dilakukan berdasarkan rasio mol $\text{CN}^- : \text{Cl}_2 = 1:1$.

Konversi mg/L kaporit menjadi mg/L Cl_2 dilakukan dengan rumus seperti tersaji dalam Persamaan 20.

$$\text{mg/L Cl}_2 \text{ larutan kaporit } 0,1 \% = 1000 \times \% \text{ Cl}_2 \text{ aktif dalam kaporit} \quad (20)$$

dengan penentuan kadar Cl_2 aktif dalam kaporit dilakukan dengan metode iodometri dengan cara kerja lengkap seperti tercantum di Lampiran 4.

Selanjutnya, perhitungan ml larutan kaporit 0,1 % yang diperlukan dalam proses pre-klorinasi ditentukan berdasarkan kalkulasi menggunakan Persamaan 21 dan 22.

$$\text{mg Cl}_2 \text{ larutan kaporit } 0,1 \% = \frac{\text{mg}}{\text{L}} \text{CN}^- \times \text{L limbah} \times \frac{\text{BM Cl}_2}{\text{BM CN}^-} \quad (21)$$

$$\text{ml kaporit diperlukan} = \frac{1000 \text{mg Cl}_2 \text{ larutan kaporit } 0,1 \%}{\frac{\text{mg}}{\text{L}} \text{Cl}_2 \text{ larutan kaporit } 0,1 \%} \quad (22)$$

3.5.2. Penelitian Utama

3.5.2.1. Proses Pre-klorinasi *Fresh Feed*

Proses ini dilakukan dengan tahapan :

- Campur dan aduk limbah cair tapioka sintesis dengan larutan kaporit 0,1 % dengan perbandingan volume limbah dan kaporit sesuai perhitungan kebutuhan.
- Tambahkan CaO 1 % hingga pH larutan menjadi 8.
- Diamkan hingga timbul endapan.
- Ukur kadar Cl_2 bebas air limbah (limbah siap digunakan sebagai influen ABR jika kadar Cl_2 bebas tidak melebihi 0,5 mg/L).

3.5.2.2. Pengaturan pH Limbah

pH *fresh feed* yang akan dimasukkan sebagai influen ABR diatur pada 3 variasi pH, yaitu tanpa adanya pengaturan pH serta pengaturan pH pada nilai 7 dan 8.

3.5.2.3. Proses Inokulasi dan Aklimatisasi

Proses inokulasi dilakukan dengan memasukkan benih lumpur yang diambil dari IPAL industri tahu sistem ABR di daerah Lamper, Semarang sampai mencapai 1/3 volume ABR. Setelah itu, dilakukan penambahan limbah cair tapioka sintesis hingga mencapai total volume kerja bioreaktor 79 L.

Sebelum dilakukan proses pengolahan limbah, proses aklimatisasi secara *batch* perlu dilakukan sampai diperoleh kondisi *steady state*. Hal ini dimaksudkan agar mikroorganisme dapat hidup secara stabil di dalam reaktor yang dalam penelitian ini ditandai dengan stabilnya nilai COD cairan dalam bioreaktor.

Sampel untuk analisa COD, BOD, TSS, CN⁻ dan pH merupakan cairan yang diambil dari tiap kompartemen dengan volume sama. Sementara hasil pengadukan campuran cairan-lumpur dengan motor pengaduk sampai diperoleh suspensi tercampur sempurna diambil dari tiap kompartemen dengan volume sama untuk sampel *Mixed Liquor Suspended Solid* (MLSS) dan *Mixed Liquor Volatile Suspended Solid* (MLVSS). Supaya hasil analisa akurat, total sampel diambil tiap *run* penelitian tidak boleh melebihi 5 % volume kerja bioreaktor.

Pengambilan sampel selama proses aklimatisasi dilakukan tiap interval 1 hari untuk analisa kadar COD, MLSS, CN⁻ dan pH. Sementara analisa kadar BOD dan MLVSS hanya dilakukan tiap interval 3 hari mengingat kelemahan analisa BOD dan MLVSS yang memerlukan waktu lama. Pada saat tercapai kondisi *steady state*, pengambilan sampel cairan dalam tiap kompartemen ABR dilakukan untuk analisa pH, BOD, COD, TSS dan CN⁻.

Uji MLVSS dan MLSS dalam penelitian ini dilakukan dengan metode gravimetri dengan cara analisa seperti tertulis di Lampiran 5. Uji MLVSS dilakukan karena nilai kadar parameter ini merupakan pendekatan konsentrasi mikroorganisme yang dalam penelitian ini diperlukan untuk perhitungan nilai parameter kinetika reaksi.

3.5.2.4. Operasi Kontinu Sistem ABR

Operasi dilakukan dengan mengalirkan influen pada bak ABR dengan pengaturan laju alir pada waktu di mana operasi aklimatisasi mencapai kondisi *steady state* yang dapat dihitung berdasarkan Persamaan 23.

$$\text{Laju alir influen} = \frac{\text{Volume kerja ABR (m}^3\text{)}}{\text{HRT (hari)}} \quad (23)$$

Influen dalam pengolahan sistem ABR diatur pada variasi kondisi *fresh feed* yang meliputi *fresh feed* yang tidak mengalami baik pengaturan pH maupun proses pre-klorinasi, *fresh feed* yang diatur pH-nya pada nilai 7, *fresh feed* yang diatur pH-nya pada nilai 8 dan *fresh feed* yang sudah mengalami proses pre-klorinasi pada pH 8.

Pada saat operasi kontinu, pengambilan sampel dilakukan pada efluen dan tiap kompartemen ABR sampai kadar COD efluen mencapai nilai stabil. Analisa kadar COD dan pH efluen serta MLSS dalam reaktor dilakukan tiap interval 1 hari. Sedangkan parameter BOD, CN^- dan TSS hanya diukur kadarnya pada saat nilai COD efluen stabil.

3.6. Proses Analisis Data

- a. Data COD, BOD, MLSS dan MLVSS tiap interval 3 hari operasi aklimatisasi *batch* akan dibuat menjadi suatu kurva kalibrasi yang menghubungkan antara waktu dengan rasio BOD/COD maupun rasio MLVSS/MLSS.
- b. Kurva kalibrasi waktu-rasio BOD/COD dan waktu-rasio MLVSS/MLSS selanjutnya dapat digunakan untuk mengestimasi nilai BOD dan MLVSS pada interval waktu saat hanya dilakukan analisa parameter COD dan MLSS.
- c. Data BOD, COD, MLVSS, MLSS, CN^- dan pH tiap interval 1 hari operasi aklimatisasi *batch* disajikan dalam bentuk grafik untuk memudahkan pengamatan fluktuasi yang terjadi, penentuan waktu aklimatisasi diperlukan dan analisa perbandingan tiap variasi run.
- d. Data BOD, MLVSS, CN^- dan pH tiap interval 1 hari operasi aklimatisasi ABR diolah dengan menggunakan pendekatan persamaan model kinetika reaksi dalam Tabel 3.2 untuk mendapatkan nilai parameter kinetika reaksi.
- d. Data COD, MLSS dan pH tiap interval 1 hari operasi kontinu juga disajikan dalam bentuk grafik untuk memudahkan pengamatan analisa perbandingan tiap variasi *run* dan untuk memudahkan perbandingannya dengan profil yang terjadi pada operasi aklimatisasi *batch*.
- f. Data waktu aklimatisasi diperlukan, nilai parameter kinetika reaksi dan kualitas efluen yang dihasilkan tiap variasi run ABR baik dalam operasi *batch* maupun kontinu pada saat tercapai kadar COD efluen stabil disajikan dalam bentuk tabel untuk memudahkan analisa perbandingan.

3.7.1. Perhitungan Nilai Parameter Kinetika

Parameter kinetika yang akan ditentukan dalam penelitian meliputi μ_{max} , K_s dan K_I yang dapat diperoleh melalui pengolahan data konsentrasi MLVSS (X), kadar BOD sebagai substrat (S) dan CN^- sebagai inhibitor (I) tiap interval waktu (t) 1 hari selama aklimatisasi sampai tercapai *steady state* secara simultan menggunakan program MATLAB 7.1 sampai didapatkan nilai MLVSS, BOD, pH dan CN^- hasil kalkulasi model yang mendekati hasil eksperimen.

Cara penentuan nilai parameter kinetika reaksi secara ringkas disajikan dalam Tabel 3.5.

Tabel 3.5. Cara estimasi nilai parameter kinetika reaksi

Parameter kualitas air	Model kinetika reaksi	Parameter kinetika reaksi
MLVSS	$\frac{dX}{dt} = \mu \cdot X$	μ
MLVSS. BOD	$\frac{dS}{dt} = -\frac{1}{Y} \cdot \frac{dX}{dt}$	Y
CN^-	$\frac{dI}{dt} = -k \cdot I$	k
pH	$\mu(pH) = a \cdot pH^2 + b \cdot pH + c$	$\mu(pH)$
BOD, CN^-	$\mu(S, I) = \frac{\mu_{max} \cdot S}{(K_s + S) \cdot (1 + \frac{I}{K_I})}$	$\mu(S, I), \mu_{max}, K_s, K_I$

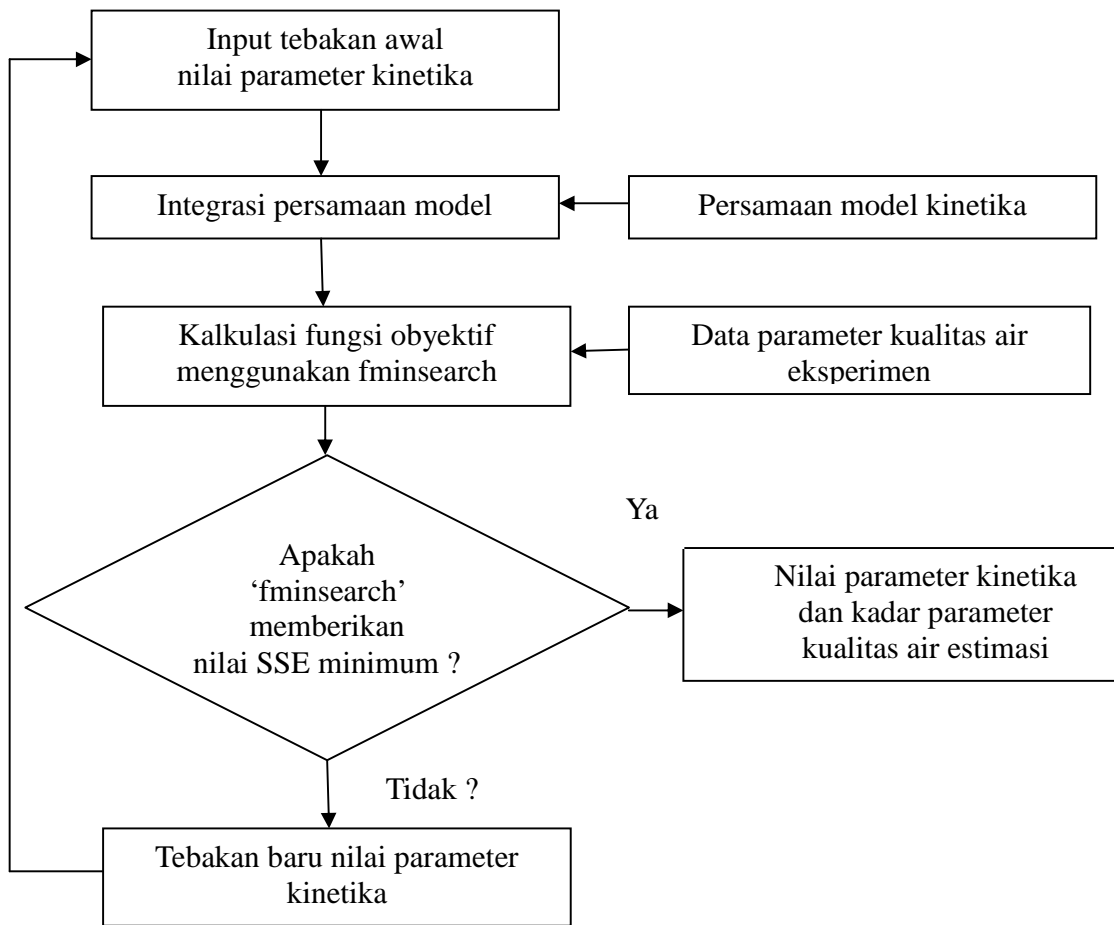
Keterangan :

$$\mu = \mu(pH) \times \mu(S, I)$$

Nilai parameter kinetika reaksi estimasi terpilih adalah yang menghasilkan nilai SSE (*Sum of Squares Errors* atau jumlah kuadrat selisih antara kadar parameter kualitas air estimasi (C_{est}) dengan kadar eksperimen (C_{exp})) terkecil.

$$SSE = \sum_{j=1}^N (C_{exp} - C_{est})^2 \quad (24)$$

Algoritma penyelesaian model-model kinetika reaksi dalam Tabel 3.2 secara ringkas disajikan dalam Gambar 3.4.



Gambar 3.4. Algoritma penyelesaian model kinetika reaksi

BAB IV

HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1. Karakteristik Limbah dan Inokulum

Karakteristik limbah cair tapioka sintesis dan kesesuaiannya dengan limbah cair tapioka eksisting yang dihasilkan salah satu industri tapioka berkapasitas 3 ton ubi kayu/hari di Pati, Jawa Tengah dapat dilihat dalam Tabel 4.1.

Tabel 4.1. Karakteristik limbah cair tapioka sintesis

Karakter	Limbah cair industri tapioka	Limbah cair tapioka sintesis
COD	7867 mg/L	8000 mg/L
BOD	3870 mg/L	3976 mg/L
TSS	1200 mg/L	1330 mg/L
pH	4,76	4,84
CN ⁻	51,2 mg/L	56,7 mg/L

Sementara benih lumpur yang digunakan dalam proses inokulasi sistem ABR berasal dari IPAL industri tahu sistem ABR di Lamper, Semarang dengan karakteristik seperti tersaji di Tabel 4.2.

Tabel 4.2. Karakteristik benih lumpur

Karakter	Nilai
VSS	9450 mg/L
TSS	14530 mg/L

Hasil analisa awal karakteristik limbah cair tapioka menunjukkan bahwa limbah mengandung senyawa organik berkadar tinggi ditunjukkan dengan besarnya nilai COD dan BOD. Pengolahan biologi yang dalam prosesnya memanfaatkan mikroorganisme untuk mendegradasi polutan organik (Hermana, 2010) layak direkomendasikan sebagai metode pengolahan yang sesuai. Kandungan BOD₅ yang melebihi 1000 mg/L membuat proses anaerob sesuai untuk diterapkan sebagai pengolahan pendahuluan (Davis and Cornell, 1991).

4.2. Perbandingan Karakteristik Influen

Mikroorganisme anaerob mempunyai sensitivitas tinggi terhadap kondisi pH dan keberadaan senyawa toksik (Seghezzo, 2004). Kajian mengenai pengaruh pengaturan pH dan penurunan kadar toksik CN^- limbah cair tapioka influen ABR terhadap kemampuan mikroorganisme anaerob dalam menurunkan kadar polutan penting dilakukan.

4.2.1. Pengaruh Pengaturan pH Terhadap Karakteristik Influen

Tabel 4.3 menunjukkan bahwa pengaturan pH dapat mengakibatkan penurunan kadar polutan (TSS, BOD, COD dan CN^-) air limbah.

Tabel 4.3. Perbandingan karakteristik influen pengolahan sistem ABR

Parameter	pH 4,84	pH 7	pH 8	Pre-klorinasi pH 8
TSS (mg/L)	1330	823	359	268
BOD (mg/L)	3976	2258	2199	878
COD (mg/L)	8000	3847	3410	1332
BOD/COD	0,497	0,587	0,644	0,659
CN^- (mg/L)	56,7	48,3	44,38	2,4

Reaksi presipitasi partikel $\text{Ca}(\text{OH})_2$ dan limbah akan menghasilkan partikel CaCO_3 yang berdensitas lebih besar dibandingkan komponen penyusunnya sehingga memungkinkan terjadinya pengendapan kadar polutan tersuspensi (Sundstrom and Klei, 1979; Leentvaar and Rebhun, 1982). Zaher (2005) menyatakan bahwa kadar COD dapat menurun akibat pengendapan TSS pada peristiwa presipitasi. Presipitasi kimia juga tercatat dapat menghilangkan 80-90 % TSS dan 50-80 % BOD (Tchobanoglous et al., 2003). Sementara Leentvaar and Rebhun (1982) menyebutkan bahwa keberadaan CaCO_3 tersuspensi mampu menurunkan 45 % *Total Organic Carbon* (TOC).

Kadar polutan limbah juga terlihat makin turun dengan adanya peningkatan pH influen. Ini senada Armenante (1997) yang menyatakan bahwa efektifitas presipitasi dapat meningkat

dengan naiknya pH. Peningkatan pH juga terbukti dalam penelitian mampu menaikkan tingkat biodegradabilitas limbah. Ini ditunjukkan dengan adanya peningkatan rasio BOD/COD yang mengindikasikan terjadinya penurunan kadar senyawa organik kompleks yang sulit terbiodegradasi (Budhi dkk., 1999). Hal tersebut dimungkinkan terjadi karena proses peningkatan pH dapat membuat lemak, salah satu komponen COD dalam limbah cair tapioka, berada dalam kondisi terlarut sehingga bersifat mudah dibiodegradasi (Zaher, 2005). Penambahan larutan basa juga akan memecah ikatan ester sehingga memudahkan aksesibilitas enzim untuk menghidrolisis selulosa menjadi glukosa (Taherzadeh and Karimi, 2008).

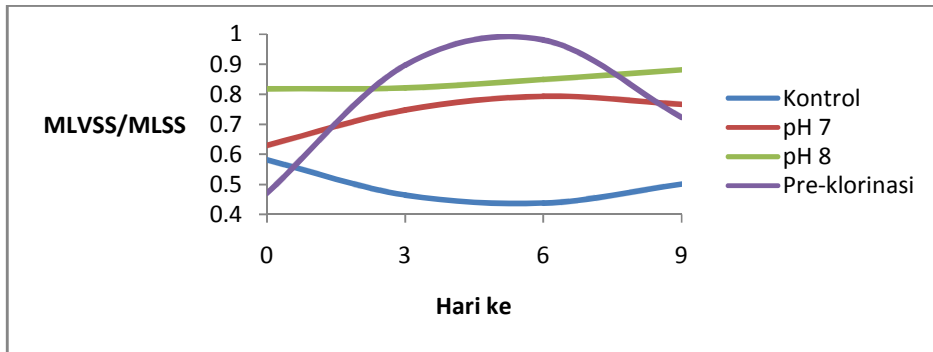
4.2.2. Pengaruh Pre-klorinasi Terhadap Karakteristik Influen

Tabel 4.3. juga menunjukkan bahwa proses pre-klorinasi influen pada kondisi pH 8 dengan dosis Cl_2 menurut perbandingan mol Cl_2 dan CN^- 1:1 ternyata mampu mengakibatkan penurunan kadar CN^- , BOD, COD dan TSS limbah terbesar. Penurunan COD yang besar dapat terjadi karena ketika Cl_2 ditambahkan dalam air, Cl_2 pertama kali akan bereaksi dengan senyawa yang mudah teroksidasi (Sundstrom and Klei, 1979) seperti molekul organik. Hal ini senada penelitian Riyanti dkk. (2010) yang menyatakan bahwa penambahan 50 mg/L $\text{Ca}(\text{OCl})_2$ pada kondisi pH 8 dapat menurunkan kadar COD sebesar 89,02 %. Sementara penurunan kadar CN^- akibat proses klorinasi dapat terjadi karena adanya proses oksidasi CN^- menjadi ion NH_4^+ . Peningkatan konsumsi Cl_2 dengan adanya oksidasi NH_3 (Botz, 2002) diduga menjadi penyebab masih tersisanya kadar CN^- dalam limbah yang telah mengalami proses pre-klorinasi.

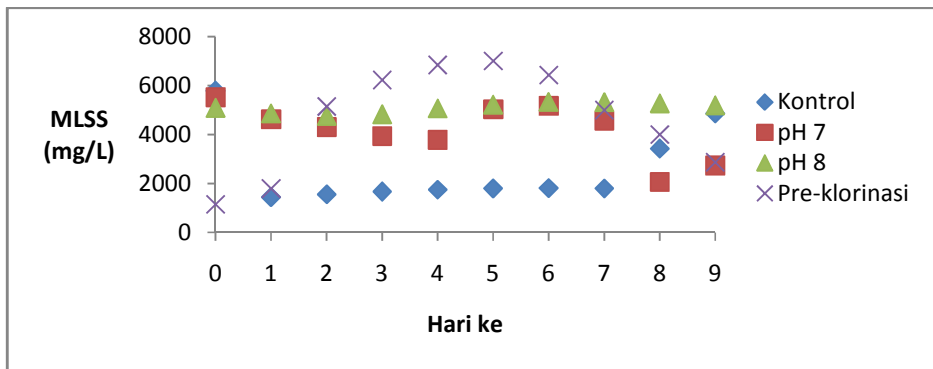
4.3. Proses Aklimatisasi

Pengamatan proses aklimatisasi dalam penelitian dilakukan dengan menganalisa pertumbuhan mikroorganisme melalui peningkatan kadar MLVSS dan aktivitas mikroorganisme menurunkan kadar senyawa organik melalui reduksi COD tiap interval 1 hari proses aklimatisasi pengolahan limbah cair tapioka sistem ABR. Karena uji MLVSS hanya dilakukan tiap interval waktu 3 hari, maka kadar MLVSS pada interval waktu lain diperoleh dengan kalkulasi berdasarkan Persamaan 25 menggunakan profil MLSS dan kurva rasio MLVSS/MLSS vs waktu seperti tersaji dalam Gambar 4.1 dan 4.2.

$$\text{mg/L MLVSS (t)} = \text{rasio MLVSS/MLSS (t)} \times \text{MLSS (t)} \quad (25)$$



Gambar 4.1. Kurva rasio MLVSS/MLSS vs waktu

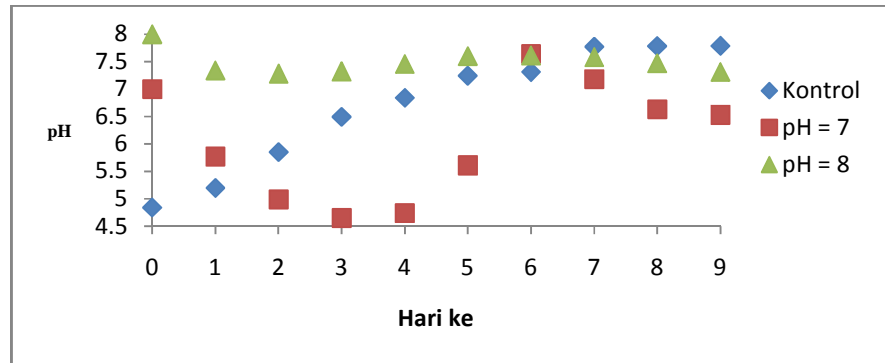


Gambar 4.2. Profil MLSS limbah cair tapioka operasi aklimatisasi batch ABR

4.3.1. Pengaruh Pengaturan pH Influen Dalam Proses Aklimatisasi

4.3.1.1. Pengaruh Pengaturan pH Influen Terhadap Profil pH

Secara umum, profil pH Gambar 4.3 menunjukkan penurunan pH pada awal aklimatisasi, kenaikan sampai tingkat maksimal lalu kembali turun. Penurunan pH pada awal proses aklimatisasi mengindikasikan pertumbuhan cepat bakteri asidogenik yang berperan menguraikan monomer hasil hidrolisis senyawa organik kompleks menjadi asam lemak volatil (Li et al., 2007; Schuner and Jarvis, 2009).



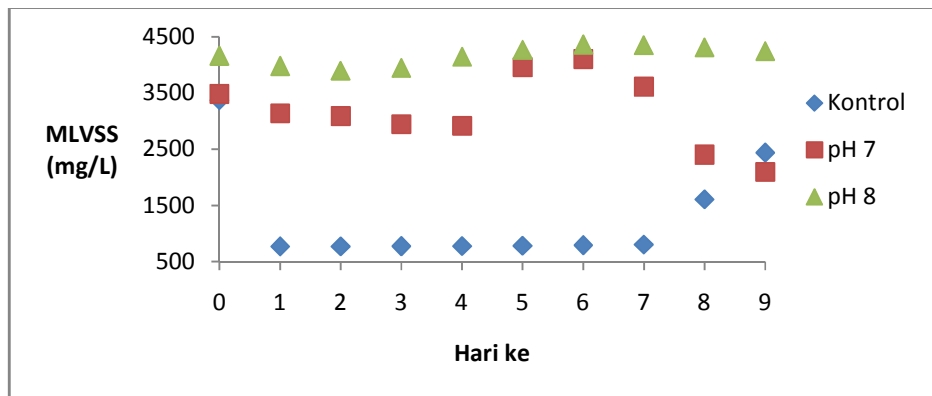
Gambar 4.3. Pengaruh pengaturan pH terhadap profil pH limbah cair tapioka operasi aklimatisasi *batch* ABR

Tak terjadinya penurunan pH awal proses aklimatisasi variabel diduga karena keberadaan ammonium bikarbonat hasil reaksi NH_3 dan CO_2 terlarut (Marchaim, 1991; Schuner and Jarvis, 2009) dapat berperan mencegah terjadinya penurunan pH akibat produksi asam lemak volatil (Alexiou, 1998). Keberadaan NH_3 yang merupakan basa kuat (Schuner and Jarvis, 2009) hasil dekomposisi protein dan CN^- (Indriyani, 2009; Panos and Bellini, 1999) yang terdapat dalam limbah cair tapioka juga dapat menyebabkan terjadinya kenaikan pH. Peningkatan alkalinitas yang berperan dalam mencegah terjadinya penurunan pH berlanjut akibat produksi asam lemak volatil pada proses asidogenesis pun dapat disebabkan oleh adanya pembentukan ion bikarbonat hasil reaksi antara hidroksida dan CO_2 produk degradasi anaerob (Movahedian et al., 2007).

Namun, di sisi lain peningkatan kadar NH_3 secara berlebih yang ditandai dengan adanya peningkatan pH juga dapat menghambat pertumbuhan bakteri methanogen. Akibatnya, laju pembentukan CH_4 menjadi turun sehingga terjadi akumulasi asam lemak volatil tak terurai yang berakibat lanjut terhadap terjadinya penurunan pH pada akhir proses (Schuner and Jarvis, 2009; Zaher, 2005).

4.3.1.2. Pengaruh Pengaturan pH Influen Terhadap Profil MLVSS

Perbandingan profil MLVSS selama proses aklimatisasi tersaji di Gambar 4.4.



Gambar 4.4. Pengaruh pengaturan pH terhadap profil MLVSS limbah cair tapioka operasi aklimatisasi *batch* ABR

Gambar 4.4. menunjukkan bahwa penurunan kadar MLVSS terjadi pada awal aklimatisasi. Hal tersebut mengindikasikan bahwa lumpur belum dapat beradaptasi dengan limbah karena mikroorganisme pada inokulum (benih lumpur) memerlukan waktu untuk beradaptasi dengan substrat. Selain itu, penurunan kadar MLVSS yang terjadi pada awal aklimatisasi semua variasi *run* juga dimungkinkan terjadi karena adanya kematian mikroorganisme yang tidak dapat bertahan pada lingkungan baru (Schuner and Jarvis, 2009).

Seiring penambahan waktu aklimatisasi, kadar MLVSS menjadi meningkat. Ini sesuai Pillay et al. (2006) dan Schuner and Jarvis (2009) yang menyatakan bahwa peningkatan waktu kontak antara mikroorganisme dalam lumpur dan limbah akan menghasilkan pertumbuhan mikroba yang cukup untuk menghilangkan polutan berkadar organik tinggi.

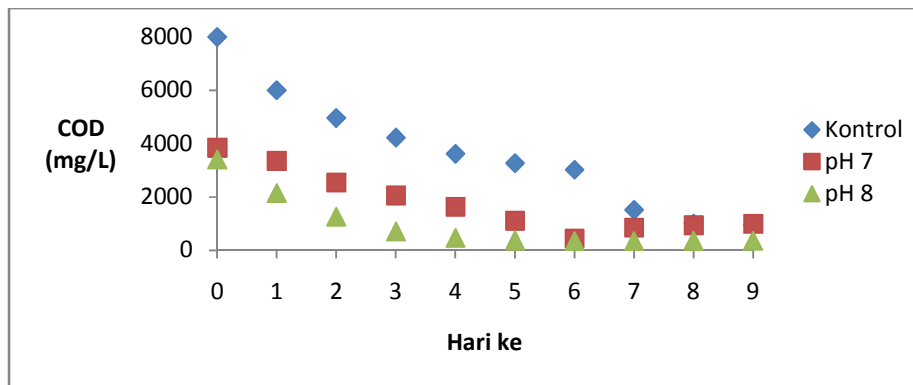
Kenaikan pH influen juga terlihat dalam Gambar 4.3 mampu meningkatkan besarnya kadar MLVSS dalam waktu lebih singkat. Hal tersebut dapat terjadi karena kisaran pH optimum pertumbuhan bakteri *methanogen* yaitu 6,5-7,2 (Appels et al., 2008).

Namun, kadar MLVSS dapat menjadi turun setelah mencapai nilai maksimum. Hal tersebut dapat disebabkan oleh kematian mikroorganisme akibat persaingan internal antar populasi untuk mempertahankan hidup sehingga mengakibatkan terjadinya kematian bakteri dengan laju lebih tinggi dibandingkan pertumbuhannya. Kenaikan pH berlanjut diduga dapat

menjadi penyebab kematian bakteri *methanogen*. Hal tersebut disebabkan bakteri methanogen dapat menjadi tidak dapat toleran pada pH di luar kisaran 6,7-7,4 (Indriyani, 2009).

4.3.1.3. Pengaruh Pengaturan pH Influen Terhadap Profil COD

Gambar 4.5 menunjukkan bahwa proses aklimatisasi dapat menurunkan COD efluen dengan kadar makin rendah seiring penambahan waktu tinggal limbah dalam bak ABR. Penurunan kadar COD yang terjadi kemungkinan disebabkan adanya konversi senyawa organik menjadi gas H_2 , CO_2 , NH_3 dan CH_4 (Budhi dkk., 1999). Selanjutnya, peningkatan waktu kontak dapat mengakibatkan biodegradasi organik berlangsung lebih lama sehingga kadar COD menjadi makin rendah (Munazah dan Soewondo, 2008).



Gambar 4.5. Pengaruh pengaturan pH terhadap profil COD limbah cair tapioka operasi aklimatisasi *batch* ABR

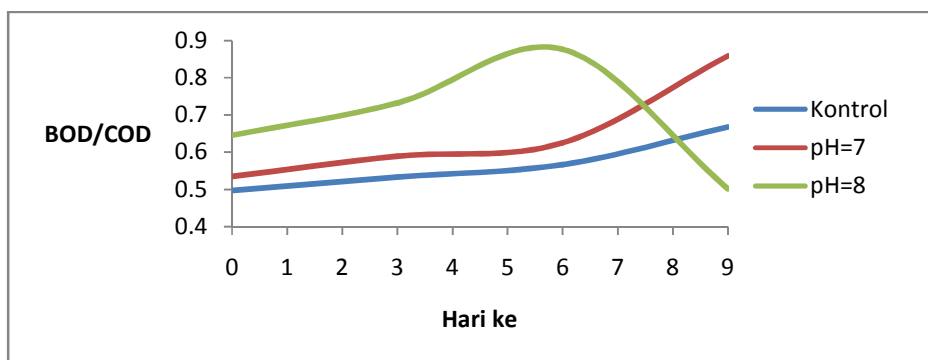
Kenaikan pH influen terlihat dalam Gambar 4.5 mampu menghasilkan kadar COD efluen yang lebih rendah dalam waktu lebih singkat. Hal tersebut dimungkinkan terjadi karena pada kondisi pH asam, lemak dalam limbah cair tapioka tidak dapat dihidrolisis sehingga berakibat pada peningkatan terhadap waktu aklimatisasi diperlukan dan besarnya kadar COD efluen (Kuang, 2002).

Nilai pH influen yang berada pada kisaran pH optimum aktivitas bakteri *methanogen* 6,5-7,2 (Appels et al., 2008) juga diindikasikan menjadi penyebab makin menurunnya kadar COD efluen sistem ABR. Hal tersebut disebabkan bakteri *methanogen* berperan menghasilkan penurunan kadar COD lebih dari 70 % yang dihasilkan sistem anaerob (Hudson, 2010).

Penurunan kadar polutan influen yang terjadi akibat adanya kenaikan pH juga dapat diindikasikan menjadi penyebab peningkatan besarnya kadar COD dihilangkan. Penelitian Ferraz et al. (2009) menunjukkan bahwa besarnya penurunan kadar COD limbah cair tapioka sistem ABR menjadi meningkat jika kadar COD influen menurun. Mai (2006) juga menyatakan bahwa penurunan kadar TSS influen limbah dapat meningkatkan penurunan kadar COD dalam biodegradasi anaerob. Akumulasi TSS akan teradsorpsi dalam partikel lumpur sehingga dapat mengambat aktivitas *methanogen* menguraikan polutan organik.

Namun, kadar COD dapat naik setelah mencapai nilai minimum. Terjadinya kenaikan COD tersebut dapat disebabkan karena peristiwa lisis (pecahnya sel dan keluarnya cairan sel) mikroorganisme yang mati akan mempengaruhi kandungan senyawa organik dalam larutan dan terukur sebagai COD sehingga nilai COD larutan menjadi naik (Budhi dkk., 1999).

Peningkatan biodegradabilitas limbah yang diindikasikan dengan naiknya rasio BOD/COD juga terjadi seiring penambahan waktu tinggal limbah dalam bioreaktor seperti terlihat di Gambar 4.6. Ini dapat terjadi karena sebagian besar komponen penyusun COD dalam limbah cair tapioka bersifat mudah didegradasi oleh mikroorganisme anaerob. Karbohidrat sebagai fraksi terbesar penyusun COD limbah cair tapioka (Zaher, 2005) tercatat merupakan komponen organik kompleks yang paling cepat dapat dihidrolisis menjadi monomer yang bersifat mudah diuraikan oleh mikroorganisme (Budiastuti, 2004).



Gambar 4.6. Pengaruh pH influen limbah cair tapioka terhadap rasio BOD/COD aklimatisasi *batch* ABR

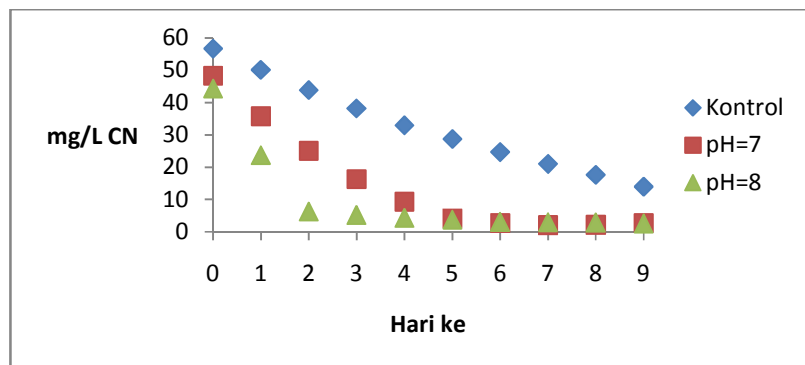
CH_3COOH , komponen asam lemak volatil yang langsung dapat dikonversi menjadi CH_4 , juga merupakan satu-satunya komponen penyusun asam lemak volatil limbah cair tapioka

(Zaher, 2005) dan diindikasikan menjadi komposisi utama asam lemak volatil yang dihasilkan proses asidogenesis limbah dengan komponen utama karbohidrat seperti limbah cair tapioka (Mai, 2006). Selain itu, proses konversi CH_4 dari CH_3COOH dapat berperan menghilangkan 70 % kadar COD yang dihasilkan oleh sistem *anaerobic digestion* (Hudson, 2010).

Peningkatan pH influen juga terbukti dalam penelitian ini dapat meningkatkan biodegradabilitas anaerob limbah. Ini sejalan Molipane et al. (2000) dan Mai (2006) yang menyatakan bahwa proses peningkatan pH akan memperbesar laju hidrolisis senyawa organik kompleks sehingga meningkatkan kemampuan biodegradasi senyawa organik. Hal tersebut dimungkinkan karena melambatnya proses hidrolisis dapat disebabkan oleh keberadaan partikel tersuspensi dan lemak (Dubuorguier, 2008). Sementara peningkatan pH influen terbukti dalam penelitian ini dapat mengakibatkan terjadinya penurunan kadar senyawa tersuspensi. Lemak dalam COD limbah cair tapioka hasil ekstraksi pati juga hanya dapat dihidrolisis dalam kondisi terlarut yaitu pH basa (Zaher, 2005).

4.3.1.4. Pengaruh Pengaturan pH Influen Terhadap Profil CN^-

Meskipun CN^- bersifat toksis, konsentrasi CN^- limbah cair tapioka juga dapat diturunkan dalam pengolahan sistem ABR dengan profil di Gambar 4.7.



Gambar 4.7. Pengaruh pengaturan pH terhadap profil CN^- limbah cair tapioka

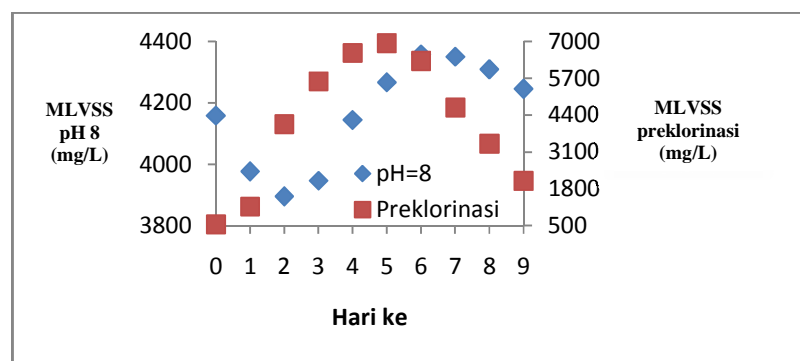
operasi aklimatisasi *batch* ABR

Penurunan kadar CN^- dapat terjadi karena beberapa jenis mikroba seperti *Klebsiella oxytoca*, *Pseudomonas fluorescens* dan *Fusarium solani* mampu membiodegradasi CN^- dengan memanfaatkannya sebagai sumber C dan N untuk pertumbuhan (Naveen et al., 2011; Adams et al., 2001).

Gambar 4.7. juga menunjukkan bahwa pengaturan pH dapat membuat proses biodegradasi CN^- menjadi lebih cepat. Hal ini dapat terjadi karena laju biodegradasi CN^- dapat menurun dengan adanya peningkatan kadar CN^- dan pada kondisi sistem di luar kisaran pH 7-9 (Ebbs, 2004). Dalam kondisi asam, laju biodegradasi CN^- berjalan lambat (Nsimba, 2009).

4.3.2. Pengaruh Pre-klorinasi Dalam Proses Aklimatisasi

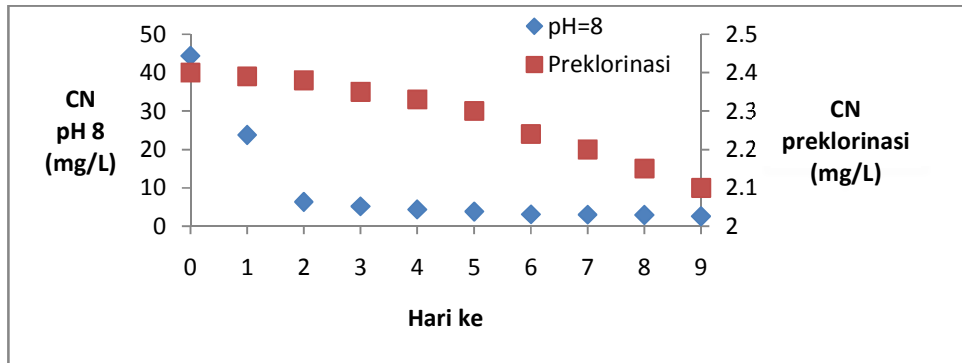
Pengaruh pre-klorinasi dalam proses aklimatisasi dapat dilihat dari profil MLVSS, COD, CN^- , pH dan rasio BOD/COD antara 2 variasi influen yaitu *fresh feed* yang diatur pH-nya pada nilai yang memberikan waktu aklimatisasi tersingkat dan penurunan kadar COD terbesar (pH 8) serta *fresh feed* yang mengalami pre-klorinasi pada pH 8. Profil MLVSS Gambar 4.8. menyatakan bahwa pre-klorinasi influen dapat menghasilkan pertumbuhan mikroorganisme lebih besar.



Gambar 4.8. Pengaruh pre-klorinasi limbah cair tapioka terhadap profil MLVSS

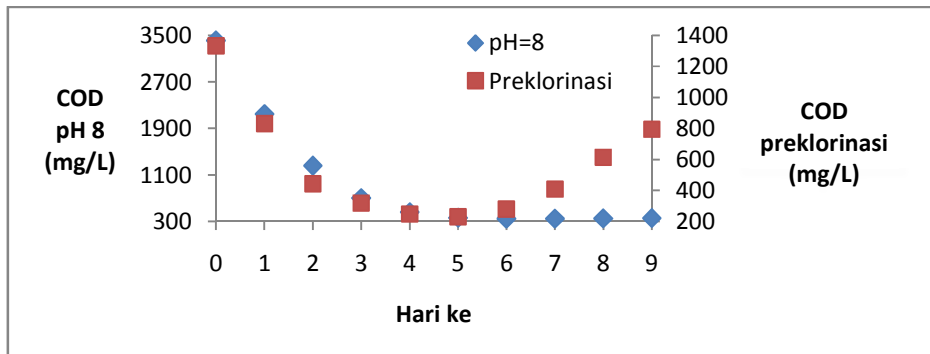
operasi aklimatisasi *batch* ABR

Fenomena peningkatan pertumbuhan mikroorganisme akibat pre-klorinasi influen diindikasikan disebabkan rendahnya kadar CN^- seperti terlihat di Gambar 4.9. Ini dimungkinkan terjadi karena peningkatan laju pertumbuhan bakteri terjadi seiring penurunan kadar CN^- limbah (Hooi, 2009).



Gambar 4.9. Pengaruh pre-klorinasi limbah cair tapioka terhadap profil CN operasi aklimatisasi *batch* ABR

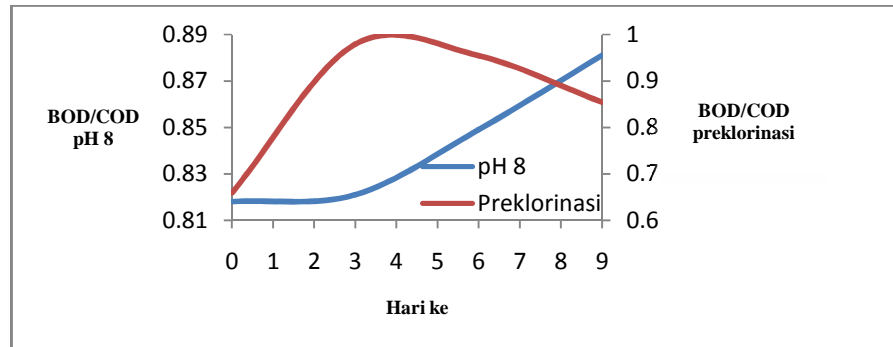
Sementara Gambar 4.10 menunjukkan bahwa pre-klorinasi influen dapat meningkatkan besarnya nilai penurunan kadar COD dalam pengolahan limbah cair tapioka menggunakan bioreaktor ABR. Ini sesuai penelitian Gijzen et al. (1999) yang menyatakan bahwa penambahan 5 mg/L CN^- tercatat menyebabkan penurunan kadar COD dari kisaran 60-85 % hingga menjadi 10 %.



Gambar 4.10. Pengaruh pre-klorinasi terhadap profil COD limbah cair tapioka operasi aklimatisasi *batch* ABR

Selain itu, pre-klorinasi influen juga terbukti mampu meningkatkan biodegradabilitas anaerob limbah selama proses aklimatisasi dilihat dari peningkatan rasio BOD/COD di Gambar 4.11. Fenomena tersebut dapat terjadi karena penambahan oksidator kuat, dalam hal ini kaporit, akan mengoksidasi senyawa organik kompleks menjadi senyawa-senyawa yang lebih sederhana sehingga dapat menurunkan kadar COD (Isyuniarto dkk., 2007) dan berakibat lanjut pada

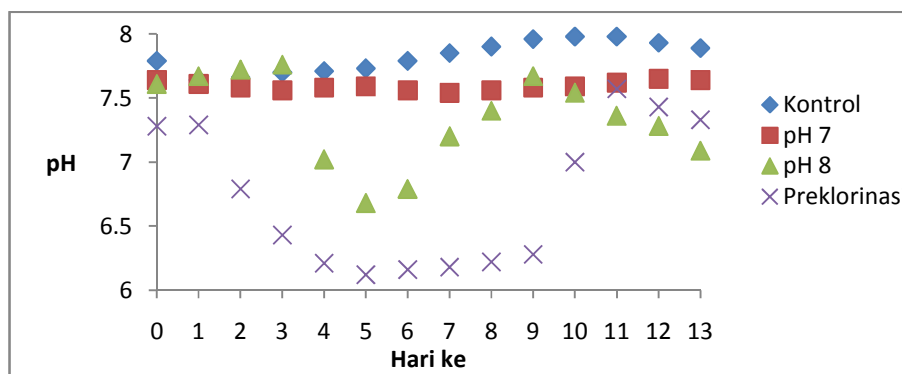
naiknya nilai rasio BOD/COD. Rendahnya kadar CN^- influen juga tercatat mampu mengakibatkan peningkatan laju hidrolisis senyawa organik kompleks (Mai, 2006) sehingga limbah menjadi makin mudah dibiodegradasi seiring penambahan waktu tinggal.



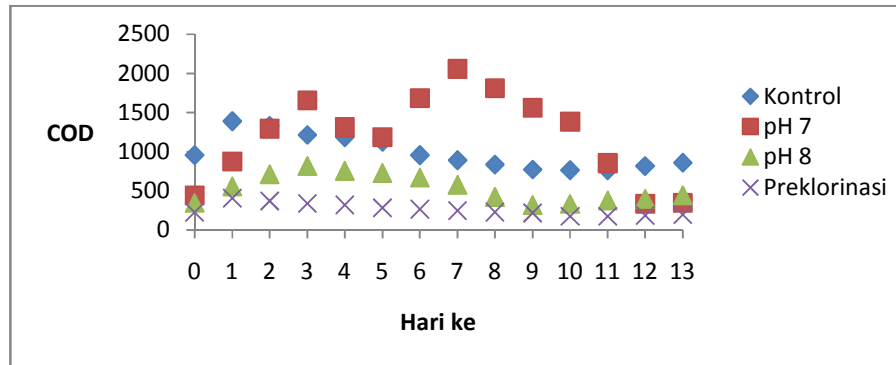
Gambar 4.11. Pengaruh pre-klorinasi limbah cair tapioka terhadap kurva rasio BOD/COD aklimatisasi *batch* ABR

4.4. Aplikasi Proses Kontinu

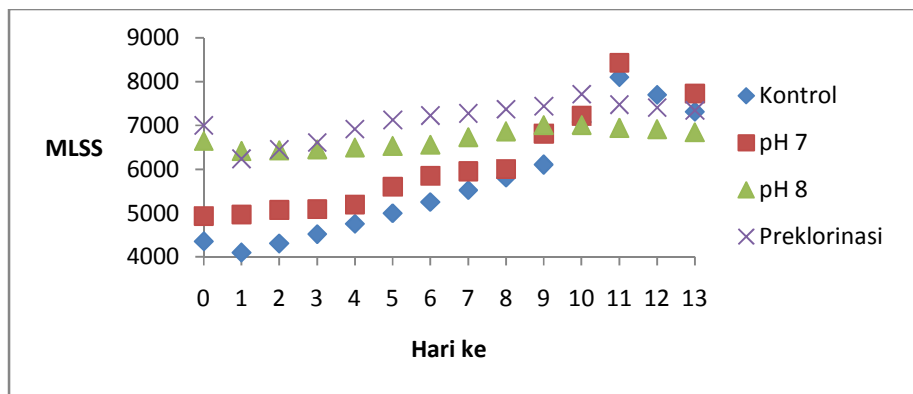
Profil pH, COD, MLSS dan CN^- selama proses kontinu semua variasi *run* (kontrol, pengaturan pH dan proses pre-klorinasi influen) dengan hari ke 0 yang diambil pada saat operasi aklimatisasi mencapai *steady state* secara berurutan disajikan dalam Gambar 4.12, 4.13 dan 4.14.



Gambar 4.12. Profil pH limbah cair tapioka operasi kontinu sistem ABR



Gambar 4.13. Profil COD limbah cair tapioka operasi kontinu sistem ABR



Gambar 4.14. Profil MLSS limbah cair tapioka operasi kontinu sistem ABR

Secara umum, Gambar 4.12, 4.13 dan 4.14 menunjukkan bahwa parameter pH, COD dan MLSS memerlukan waktu untuk mencapai nilai stabil ketika dilakukan perubahan operasi dari *batch* menjadi kontinu. Adanya aliran substrat senyawa organik berkadar tinggi dapat mengakibatkan timbulnya akumulasi asam lemak volatil hasil proses yang dapat berdampak terhadap penurunan kinerja mikroorganismenya *methanogen* (Moletta, 2010) yang ditandai dengan peningkatan kadar COD dan penurunan pH efluen (Mai, 2006). Oleh karena itu, mikroorganismenya memerlukan waktu kembali untuk dapat beradaptasi dan bekerja menguraikan substrat dengan stabil.

Penelitian Kalyandurg (2003) juga menyatakan bahwa peningkatan konsentrasi substrat mendadak akan menyebabkan penurunan drastis kadar COD. Sementara Olafadehan and Alabi (2009) menyebutkan bahwa peningkatan konsentrasi substrat dapat menyebabkan penurunan laju

pertumbuhan mikroorganismenya. Hal inilah yang menyebabkan terjadinya penurunan kadar MLSS yang diiringi dengan peningkatan kadar COD pada awal proses kontinu.

Namun, penambahan waktu pengolahan akan mengakibatkan peningkatan kadar MLSS dan penurunan kadar COD operasi kontinu dibandingkan saat aklimatisasi *batch* mencapai *steady state* (hari ke-0 operasi kontinu). Ini mengindikasikan laju pertumbuhan mikroorganismenya pada operasi kontinu lebih tinggi dibandingkan *batch*. Hal tersebut dimungkinkan terjadi karena proses kontak mikroorganismenya dalam lumpur dan substrat berlangsung lebih sempurna dalam operasi kontinu sehingga dapat meningkatkan laju pertumbuhan mikroorganismenya anaerob khususnya *methanogen* yang mempunyai laju pertumbuhan lambat (Grobicki and Stuckey, 1990).

4.5. Kualitas Efluen

Untuk memudahkan perbandingan, kualitas efluen tiap variasi *run* saat operasi aklimatisasi *batch* mencapai *steady state*, aplikasi kontinu dan baku mutu limbah cair industri tapioka menurut Peraturan Daerah Propinsi Jateng No 10 Tahun 2004 disajikan dalam Tabel 4.4.

Tabel 4.4. Karakteristik efluen limbah cair tapioka sistem ABR

Parameter	Kontrol		pH 7		pH 8		Pre-klorinasi		Baku mutu
	Aklimatisasi	Kontinu	Aklimatisasi	Kontinu	Aklimatisasi	Kontinu	Aklimatisasi	Kontinu	
pH	7,79	7,98	7,64	7,65	7,61	7,67	7,28	7,57	6-9
COD (mg/L)	954	764	443	336	347	320	230	177	300
BOD (mg/L)	637	558	379	299	304	287	219	170	150
TSS (mg/L)	932	801	656	626	304	266	224	164	100
CN (mg/L)	14	8,82	2,73	1,58	3,07	1,47	2,3	0,546	0,3
BOD/COD	0,668	0,73	0,856	0,89	0,876	0,897	0,952	0,961	
Waktu aklimatisasi (hari)	9		6		6		5		

Hasil penelitian dalam Tabel 4.4 menunjukkan bahwa proses peningkatan pH influen sistem ABR dapat mengakibatkan makin rendahnya kadar polutan efluen. Penurunan kadar

senyawa organik yang terjadi ketika pH influen dinaikkan dapat menetralkan terjadinya akumulasi asam lemak volatil yang bersifat menghambat aktivitas bakteri (Munazah dan Soewondo, 2008; Li et al., 2007). Sementara penurunan drastis kadar inhibitor CN^- influen yang terjadi akibat proses pre-klorinasi diindikasikan mengakibatkan mikroorganisme mampu bekerja lebih baik dalam menurunkan kadar polutan sehingga mampu menghasilkan kadar polutan efluen terendah dibandingkan variasi *run* yang lain.

Waktu aklimatisasi juga terlihat dalam Tabel 4.4. dapat menjadi menurun dengan adanya proses peningkatan pH influen. Penurunan kadar polutan influen yang terjadi akibat adanya kenaikan pH diindikasikan menjadi penyebab lebih singkatnya waktu aklimatisasi diperlukan. Ini senada Alkarimiah et al. (2011) dan Alexiou, (1998) yang menyatakan bahwa penurunan waktu aklimatisasi akan terjadi jika limbah yang diolah mengandung senyawa organik atau padatan dengan kadar yang lebih rendah (Alkarimiah et al., 2011; Alexiou, 1998).

Rendahnya nilai kadar CN^- limbah yang terjadi akibat proses pre-klorinasi influen juga ditengarai dapat semakin menurunkan waktu aklimatisasi diperlukan untuk mencapai kondisi *steady state* yang dalam penelitian ini diindikasikan dengan dihasilkannya nilai COD efluen terendah. Ini disebabkan tingginya kadar toksis influen dapat membuat proses adaptasi mikroorganisme dengan air limbah yang akan diolah menjadi lebih lama (Schuner and Jarvis, 2009; Panos and Bellini, 1999).

Tabel 4.4 juga menunjukkan bahwa proses kontinu yang dioperasikan setelah fase aklimatisasi mencapai *steady state* terbukti mampu memperbesar tingkat biodegradabilitas efluen yang ditunjukkan oleh kenaikan nilai rasio BOD/COD. Kadar polutan efluen operasi kontinu juga terbukti lebih rendah dibanding sistem *batch*. Hal tersebut disebabkan mikroorganisme mendapatkan *supply* air limbah yang lebih stabil baik dalam besarnya laju alir maupun kadar polutan efluen proses kontinu (Sipma et al., 2006). Ini menguntungkan karena dapat mengurangi resiko *overloading* akibat penambahan sejumlah besar substrat dalam satu waktu yang terjadi pada operasi *batch* (Schuner and Jarvis, 2009) yang berperan penting dalam peningkatan kemampuan mikroorganisme mendegradasi senyawa organik khususnya dalam tahapan metanogenesis (Sipma et al., 2006; Spanjers and Lier, 2006) dan penurunan kadar polutan tersuspensi (Sipma et al., 2006).

Namun, efluen limbah cair tapioka proses anaerob metode ABR dengan atau tanpa adanya proses *pre treatment* belum mampu memenuhi semua baku mutu limbah cair industri tapioka

berdasarkan Peraturan Daerah Propinsi Jateng No 10 Tahun 2004 sehingga masih diperlukan proses lain sebelum limbah aman untuk dibuang ke badan air penerima. Perbaikan kualitas efluen yaitu penurunan kadar polutan yang lebih besar dapat dihasilkan dengan melakukan proses pre-klorinasi influen.

4.6. Penentuan Nilai Parameter Kinetika Reaksi

Analisa mengenai fenomena pertumbuhan mikroorganisme dan pemanfaatan substrat yang terjadi dengan mempertimbangkan adanya pengaruh inhibisi substrat, pH dan kadar toksik yang dalam hal ini diwakili oleh CN^- digunakan dalam penelitian ini untuk mendapatkan nilai parameter kinetika yang dapat berguna dalam perancangan bioreaktor. Parameter kinetika reaksi yang dianalisa dalam penelitian ini meliputi laju pertumbuhan mikroorganisme (μ_{max}), konstanta setengah jenuh (K_s), yield (Y), konstanta inhibisi (KI), laju penurunan kadar CN^- (k) serta nilai konstanta parameter laju pertumbuhan mikroorganisme akibat inhibisi pH (a , b dan c).

Hasil perhitungan nilai parameter kinetika tiap variasi *run* secara ringkas disajikan dalam Tabel 4.5.

Tabel 4.5. Perbandingan nilai parameter kinetika reaksi tiap variasi *run*

Parameter	Kontrol	pH 7	pH 8	Pre-klorinasi
μ_{max} ($hari^{-1}$)	1,156	1,353	1,697	2,579
K_s (mg/L BOD)	108,329	238,938	237,978	19,336
KI (mg/L BOD)	20,252	21,365	3,236	0,864
Y (mg VSS/mg BOD)	3,478	1,920	0,458	10,728
k ($hari^{-1}$)	0,152	0,496	0,430	0,009
a	0,006	0,065	1,355	-2,946
b	-0,379	-0,587	-20,35	42,24
c	3,508	1,496	76,46	-149,1

Tabel 4.5 menunjukkan bahwa laju pertumbuhan maksimum mikroorganisme (μ_{max}) menjadi meningkat dengan adanya peningkatan pH. Ini sejalan hasil penelitian Olafadehan and Alabi (2009) yang menyebutkan bahwa laju pertumbuhan mikroorganisme menjadi meningkat dengan adanya kenaikan pH hingga level tertentu. Peningkatan nilai μ_{max} ini menguntungkan

karena mengindikasikan air limbah semakin mudah dibiodegradasi (Abbassi, 2008) dan volume bioreaktor yang diperlukan menjadi makin kecil (Haydar and Aziz, 2009).

Produksi lumpur terlihat dalam penelitian ini menjadi makin kecil dengan adanya peningkatan pH yang diindikasikan dengan kecilnya nilai Y (*yield*). Hal tersebut diduga terjadi karena kadar senyawa tersuspensi influen menjadi turun dengan adanya peningkatan pH limbah. Hal tersebut diinginkan dalam pengolahan biologi karena semakin kecil nilai Y, maka frekuensi pembuangan lumpur juga menjadi semakin kecil (Aiyuk et al., 2006).

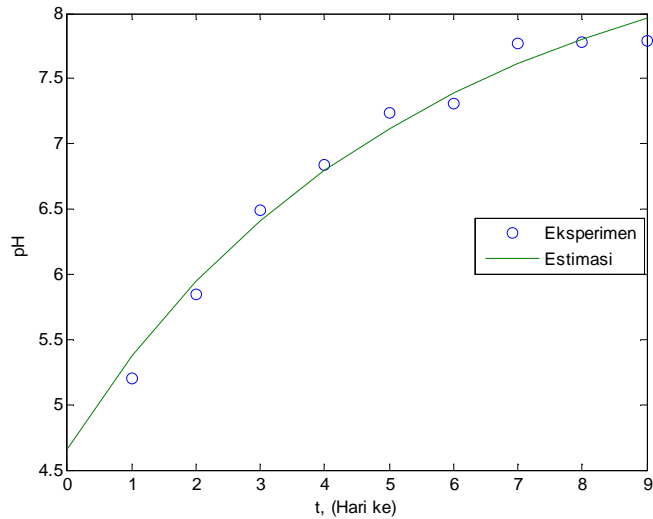
Efek inhibisi terendah didapatkan pada variasi pengolahan limbah cair tapioka sistem ABR dengan adanya pre-klorinasi influen pada kondisi basa. Fenomena tersebut diduga terjadi karena rendahnya potensi timbulnya akumulasi asam lemak volatil pada kondisi pH basa dan kadar CN^- limbah yang rendah. Penurunan laju pertumbuhan *methanogen* yang dapat berakibat lanjut ke terhalangnya proses pembentukan CH_4 dari CH_3COOH terbukti terjadi dengan semakin rendahnya kadar CN^- limbah (Hooi, 2009) dan di luar kisaran pH 6,5-8,2 (Hudson, 2010). Hal tersebut dapat dilihat dari tercapainya nilai μ_{max} tertinggi dan KI terendah.

Nilai μ_{max} yang diperoleh dalam penelitian ini pada semua variasi lebih rendah dibandingkan dengan proses asidogenesis limbah pati yang mencapai 3,12/hari (Ahn et al., 2004), pengolahan sistem UASB limbah agro industri campuran industri kelapa sawit, gula dan tapioka yang mencapai 5,533/hari (Nugrahini dkk., 2008) dan pengolahan limbah cair tapioka metode aerasi lumpur aktif konvensional yang mencapai 10,848/hari (Budiyono dkk., 2003).

Selain itu, proses pengolahan limbah cair tapioka sistem ABR dengan adanya pre-klorinasi influen juga terbukti mengakibatkan tercapainya nilai konstanta setengah jenuh (K_s) terendah. Nilai K_s terendah yang didapatkan pada variasi *run* ini menunjukkan bahwa tipe proses pengolahan ini paling sesuai dengan karakter limbah (Abbassi, 2008) dibandingkan variasi *run* yang lain. Haydar and Azis (2009) juga menyatakan bahwa nilai K_s berbanding lurus dengan konsentrasi efluen

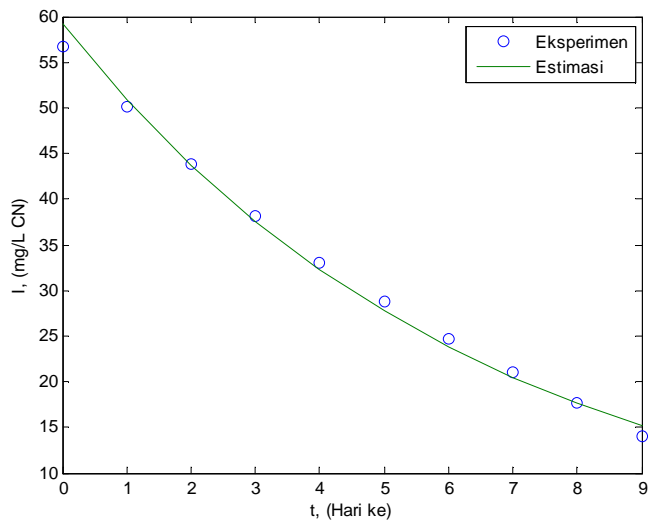
Namun, hasil kalkulasi parameter kinetika juga menunjukkan bahwa pre-klorinasi influen menghasilkan laju penurunan biodegradasi CN^- terendah dalam bioreaktor ABR yang diindikasikan dengan nilai konstanta laju penurunan CN^- (k) terkecil. Ini senada penelitian Panos and Bellini (1999) yang menyatakan bahwa laju biodegradasi CN^- dapat menjadi menurun seiring turunnya kadar CN^- influen.

Perbandingan antara kadar pH, CN⁻, BOD dan MLVSS hasil kalkulasi parameter kinetika dan hasil eksperimen secara ringkas disajikan dalam bentuk grafik pada Gambar 4.15 sampai dengan Gambar 4.29.



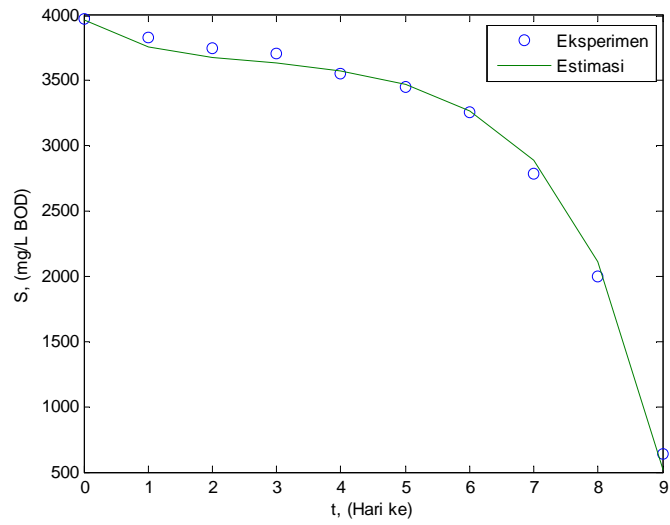
Gambar 4.15. Perbandingan kadar pH eksperimen dan estimasi

variabel kontrol sistem *Anaerobic Baffled Reactor*

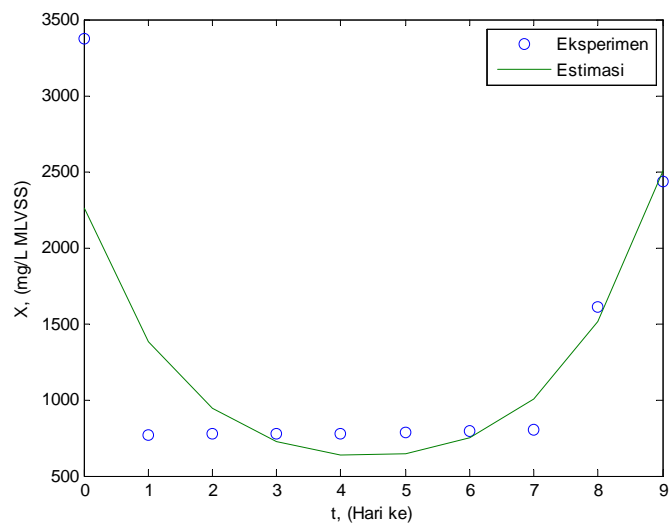


Gambar 4.16. Perbandingan kadar CN eksperimen dan estimasi

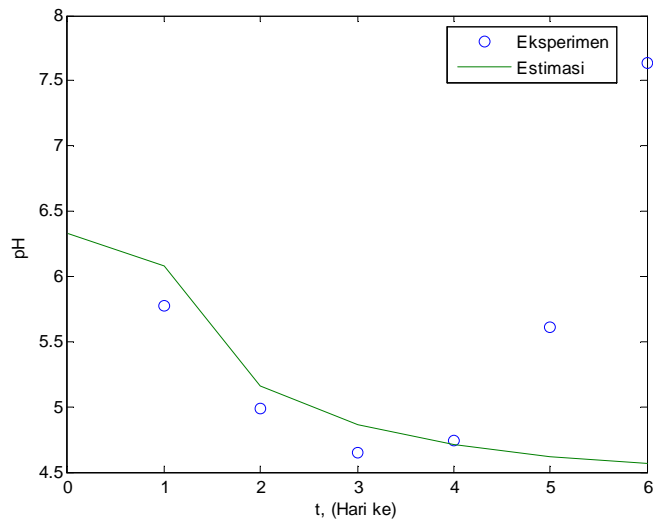
variabel kontrol sistem *Anaerobic Baffled Reactor*



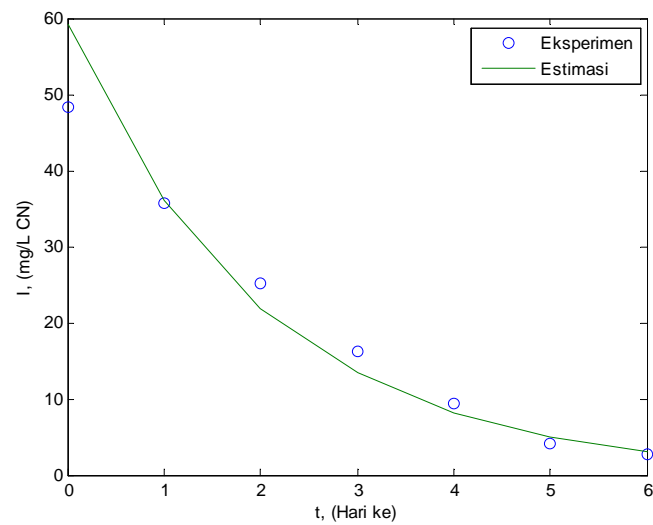
Gambar 4.17. Perbandingan kadar BOD eksperimen dan estimasi variabel kontrol sistem *Anaerobic Baffled Reactor*



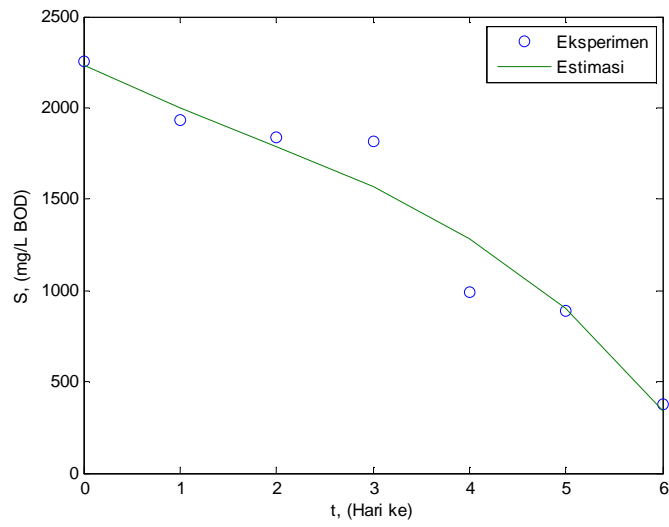
Gambar 4.18. Perbandingan kadar MLVSS eksperimen dan estimasi variabel kontrol sistem *Anaerobic Baffled Reactor*



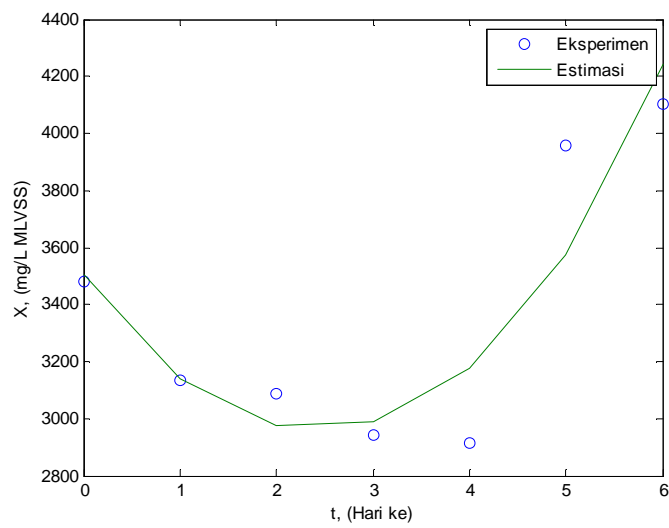
Gambar 4.19. Perbandingan nilai pH eksperimen dan estimasi variabel pH 7 sistem *Anaerobic Baffled Reactor*



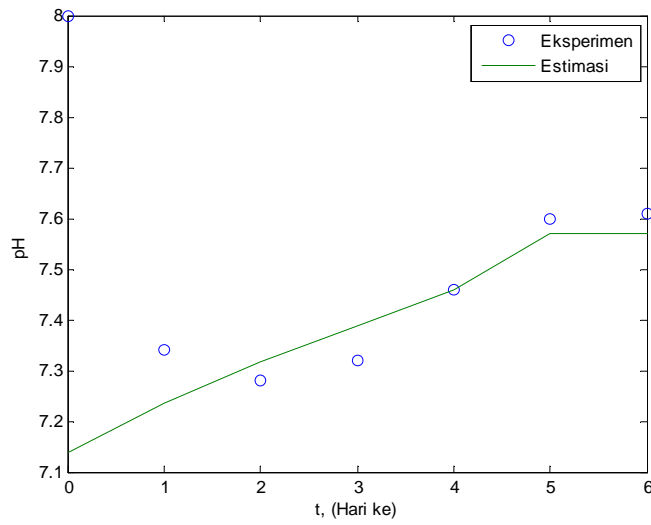
Gambar 4.20. Perbandingan kadar CN^- eksperimen dan estimasi variabel pH 7 sistem *Anaerobic Baffled Reactor*



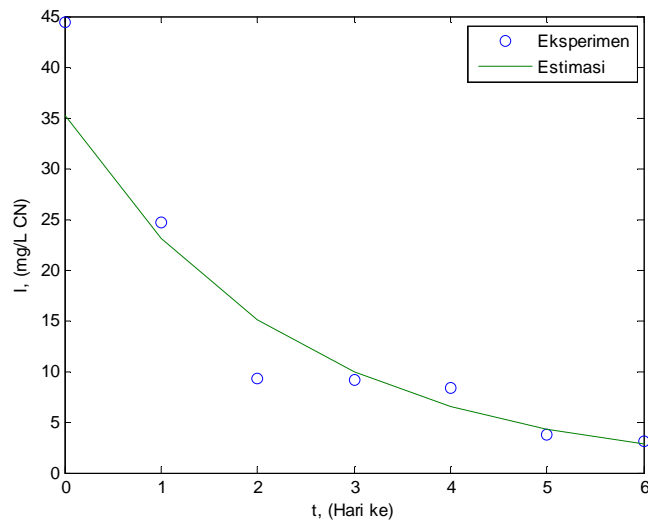
Gambar 4.21. Perbandingan kadar BOD eksperimen dan estimasi variabel pH 7 sistem *Anaerobic Baffled Reactor*



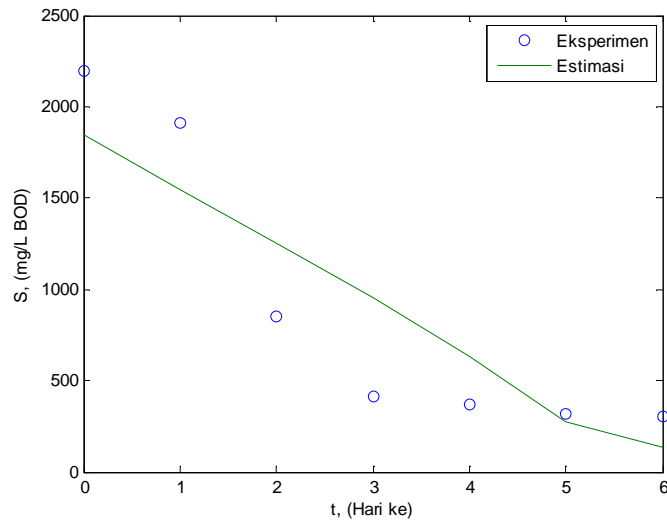
Gambar 4.22. Perbandingan kadar MLVSS eksperimen dan estimasi variabel pH 7 sistem *Anaerobic Baffled Reactor*



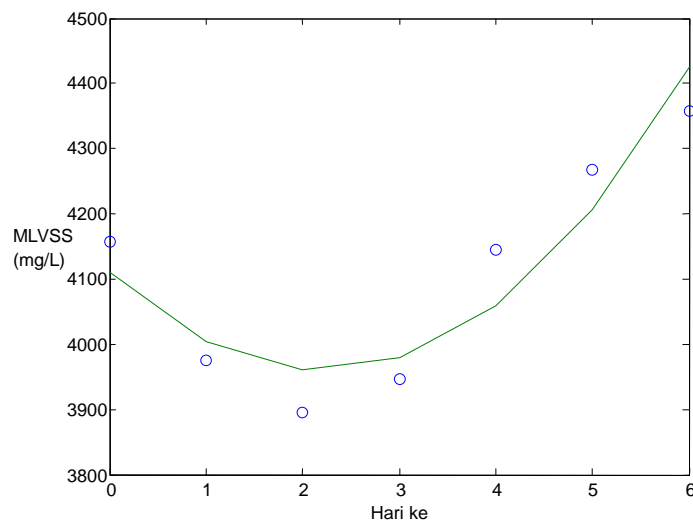
Gambar 4.23. Perbandingan kadar pH eksperimen dan estimasi variabel pH 8 sistem *Anaerobic Baffled Reactor*



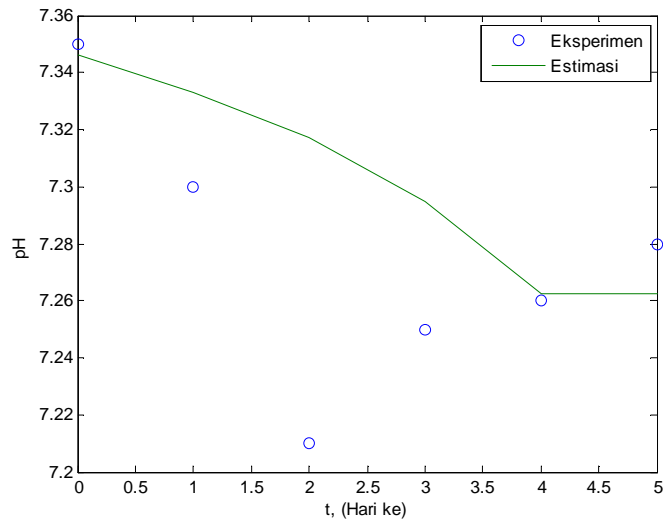
Gambar 4.24. Perbandingan kadar CN eksperimen dan estimasi variabel pH 8 sistem *Anaerobic Baffled Reactor*



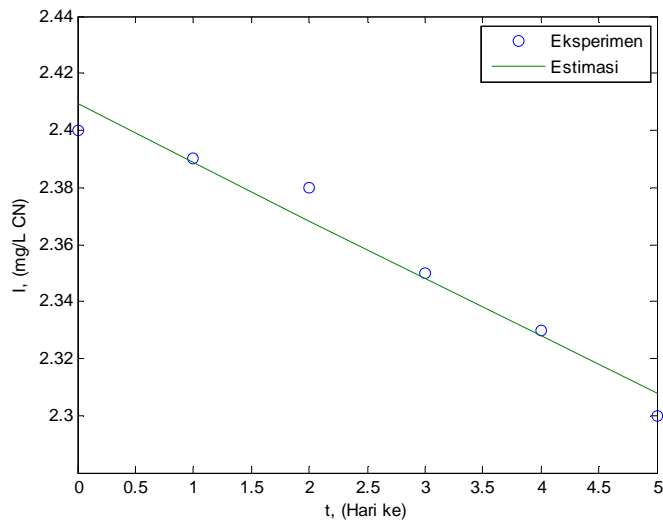
Gambar 4.25. Perbandingan kadar BOD eksperimen dan estimasi variabel pH 8 sistem *Anaerobic Baffled Reactor*



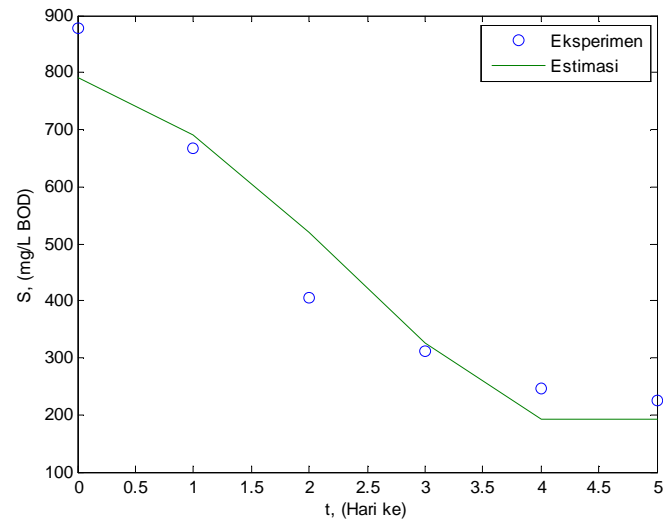
Gambar 4.26. Perbandingan nilai MLVSS eksperimen dan estimasi variabel pH 8 sistem *Anaerobic Baffled Reactor*



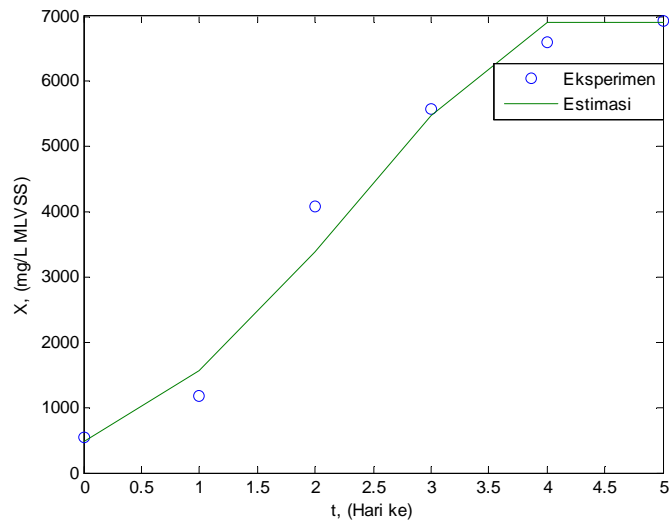
Gambar 4.27. Perbandingan kadar pH eksperimen dan estimasi variabel pre-klorinasi sistem *Anaerobic Baffled Reactor*



Gambar 4.28. Perbandingan kadar CN^- eksperimen dan estimasi variabel pre-klorinasi sistem *Anaerobic Baffled Reactor*



Gambar 4.29. Perbandingan kadar BOD eksperimen dan estimasi variabel pre-klorinasi sistem *Anaerobic Baffled Reactor*



Gambar 4.30. Perbandingan kadar MLVSS eksperimen dan estimasi variabel pre-klorinasi sistem *Anaerobic Baffled Reactor*

Tingkat kesesuaian antara kadar pH, CN^- , BOD dan MLVSS estimasi dan eksperimen dapat dilihat dari % selisih rata-rata tiap parameter setiap variasi run seperti terlihat dalam Tabel 4.6. Sementara % selisih kadar pH, CN^- , BOD dan MLVSS estimasi dan eksperimen tiap parameter

per interval 1 hari operasi aklimatisasi tiap variasi *run* disajikan secara lengkap dalam Lampiran 6.

Tabel 4.6. % selisih rata-rata data eksperimen dan estimasi tiap variasi *run*

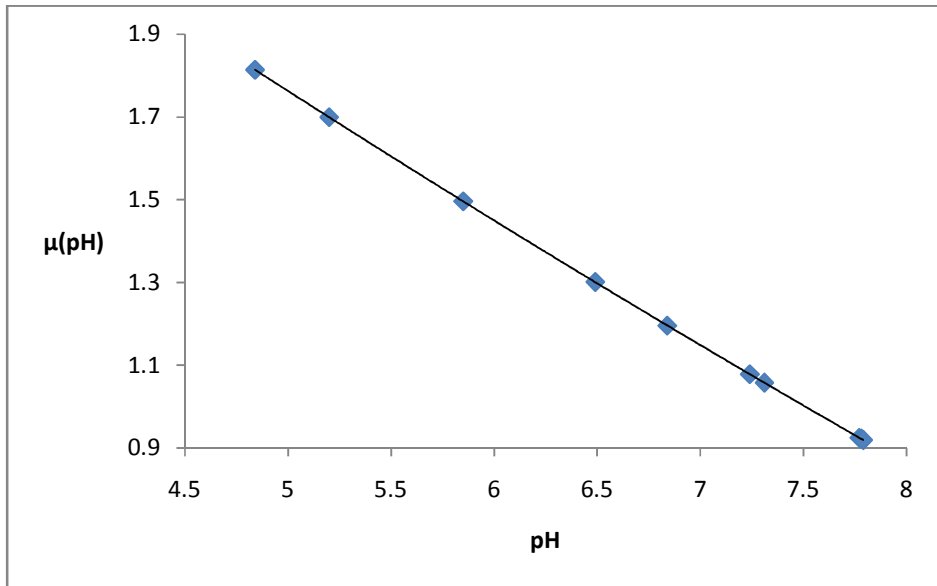
Parameter	Kontrol	pH = 7	pH = 8	Pre-klorinasi
MLVSS	17,304	3,862	1,332	11,57
BOD	3,587	12,431	33,431	0,236
pH	1,770	16,156	2,505	0,202
CN ⁻	2,534	13,532	16,546	0,243

4.6.1. Hubungan Antara Nilai Laju Pertumbuhan Mikroorganisme dan pH

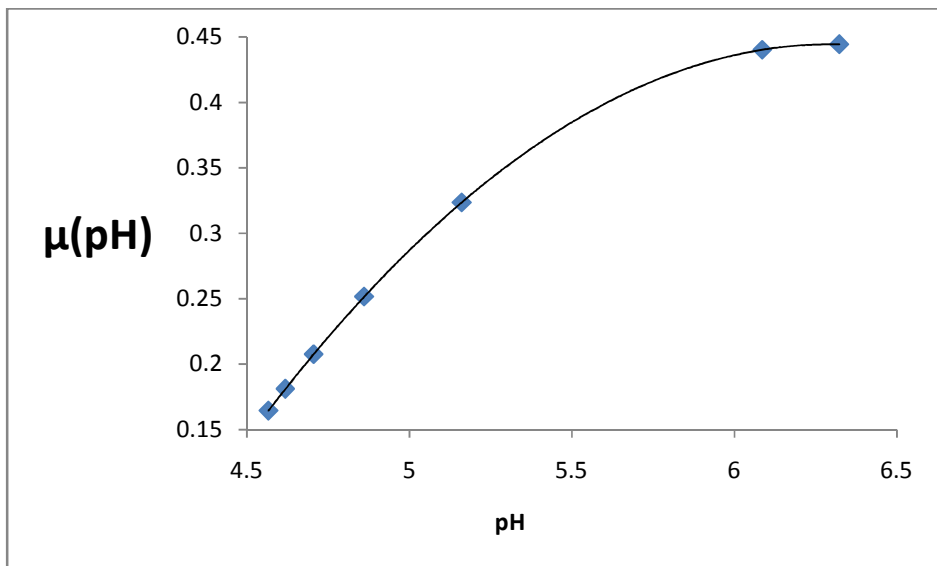
Berdasarkan nilai parameter kinetika reaksi hasil estimasi, maka dapat dibuat grafik hubungan antara nilai pH dan laju pertumbuhan mikroorganisme dalam bioreaktor ABR untuk tiap kondisi pengolahan seperti tersaji dalam Tabel 4.7.sebagai berikut :

Tabel 4.7. Kondisi Pengolahan Sistem ABR

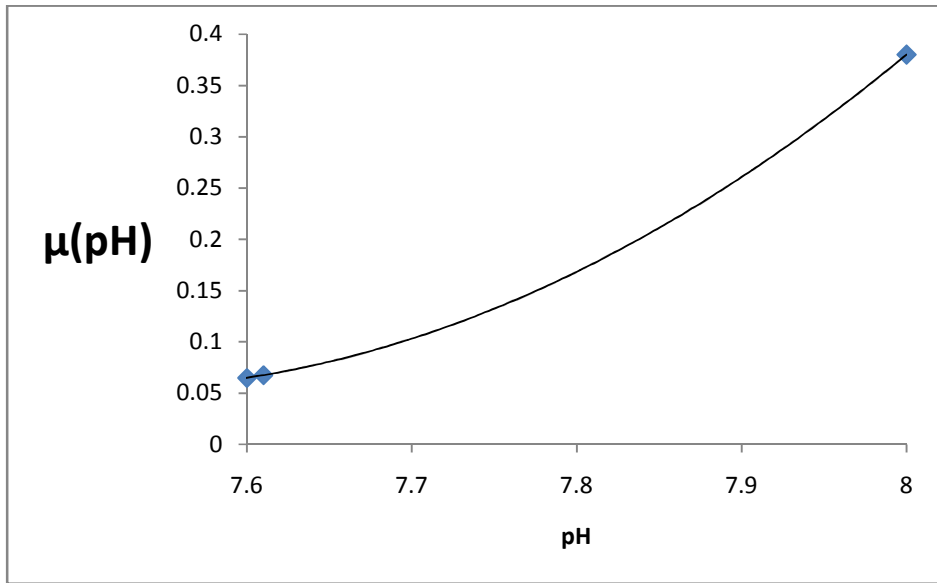
Parameter	Kontrol		pH 7		pH 8		Pre-klorinasi		Baku mutu
	Influen	Efluen	Influen	Efluen	Influen	Efluen	Influen	Efluen	
pH	4,84	7,98	7	7,65	8	7,67	7,35	7,57	6-9
COD (mg/L)	8000	764	3847	336	3410	320	1332	177	300
BOD (mg/L)	3976	558	2258	299	2199	287	878	170	150
TSS (mg/L)	1330	801	823	626	359	266	268	164	100
CN ⁻ (mg/L)	56,7	8,82	48,3	1,58	44,38	1,47	2,4	0,546	0,3
BOD/COD	0,497	0,73	0,587	0,89	0,644	0,897	0,659	0,961	
Waktu tinggal (hari)	9		6		6		5		



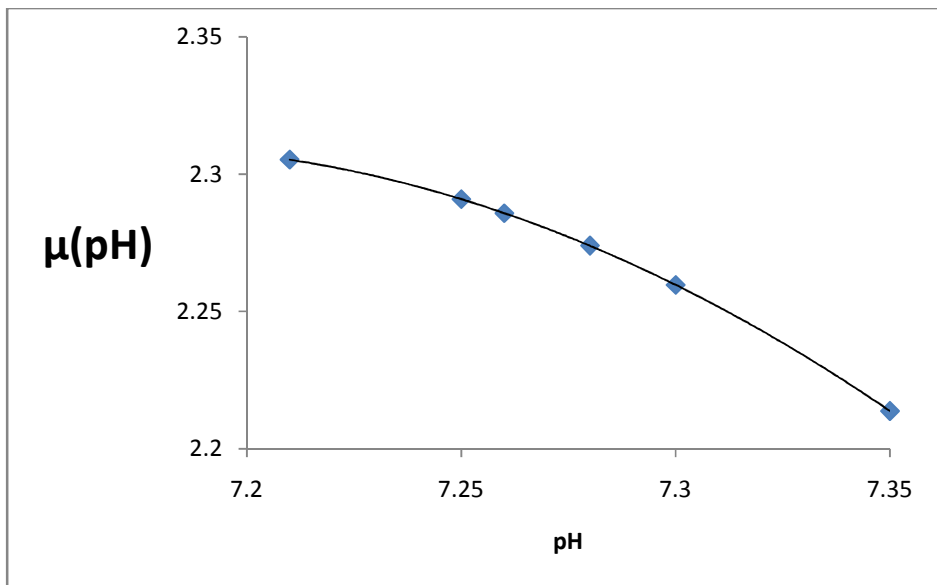
Gambar 4.31. Hubungan antara pH dan laju pertumbuhan mikroorganisme variabel kontrol



Gambar 4.32. Hubungan antara pH dan laju pertumbuhan mikroorganisme variabel pH 7



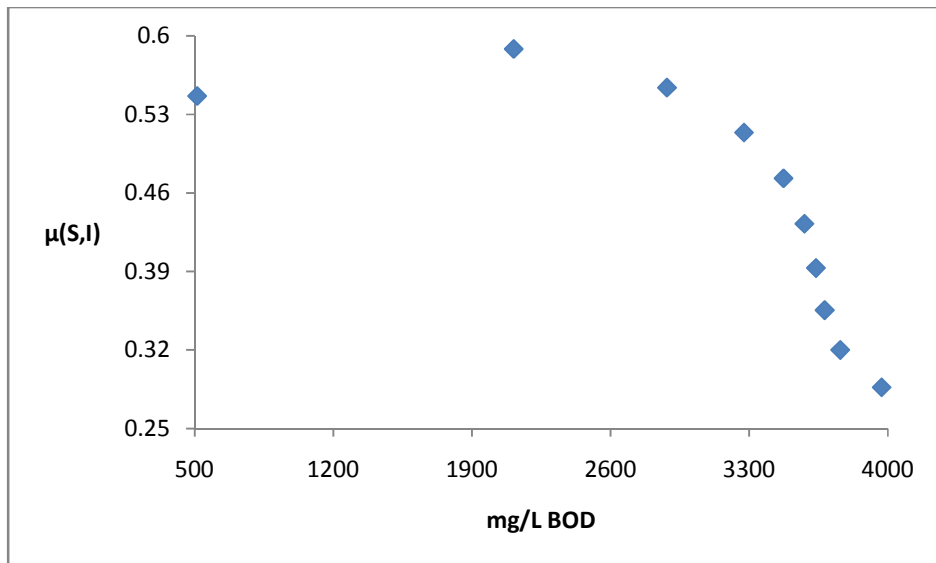
Gambar 4.33. Hubungan antara pH dan laju pertumbuhan mikroorganisme pada variabel pH = 8



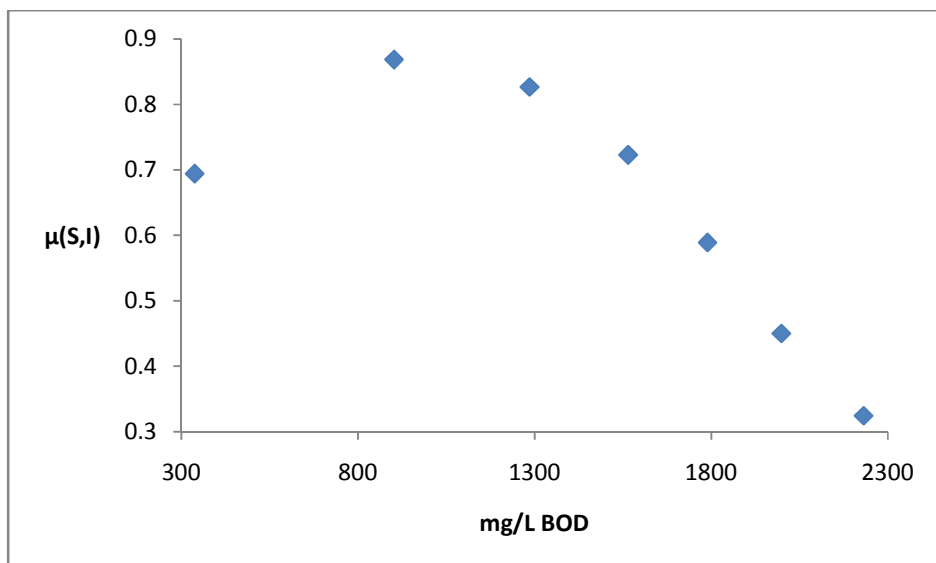
Gambar 4.34. Hubungan antara pH dan laju pertumbuhan mikroorganisme pada variabel pre-klorinasi

4.6.1. Hubungan Antara Nilai Laju Pertumbuhan Mikroorganismen dan Kadar BOD

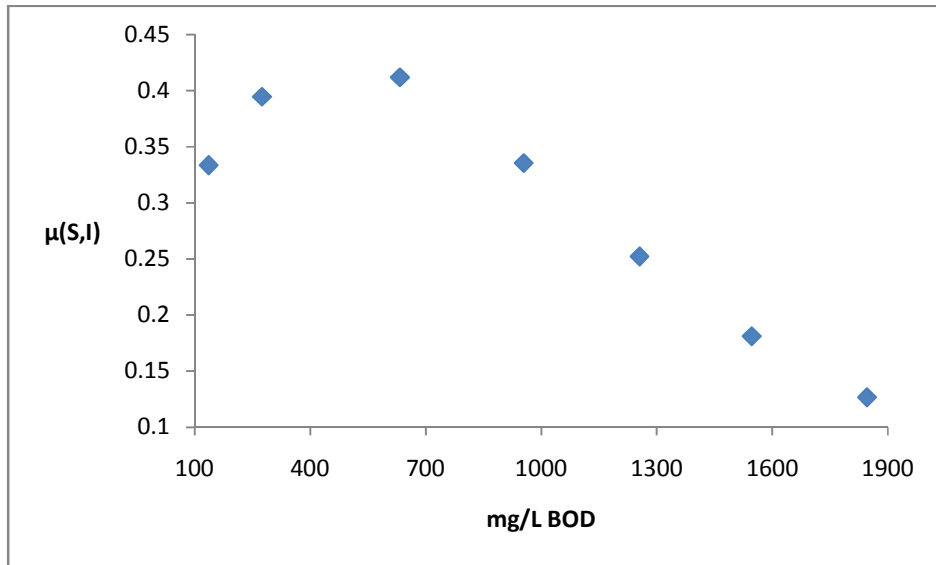
Berdasarkan nilai parameter kinetika reaksi hasil estimasi, maka dapat dibuat grafik hubungan antara kadar substrat yang dalam hal ini diwakili oleh kadar BOD dan laju pertumbuhan mikroorganismen dalam bioreaktor ABR untuk tiap kondisi pengolahan dalam Tabel 4.7. sebagai berikut :



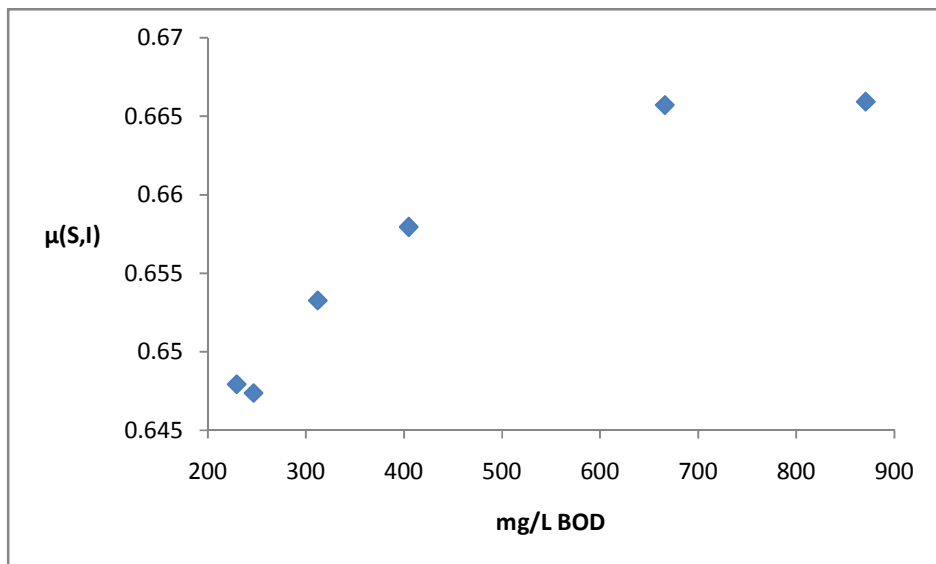
Gambar 4.35. Hubungan antara konsentrasi substrat dan laju pertumbuhan mikroorganismen pada variabel kontrol



Gambar 4.36. Hubungan antara konsentrasi substrat dan laju pertumbuhan mikroorganisme pada variabel pH 7



Gambar 4.37. Hubungan antara konsentrasi substrat dan laju pertumbuhan mikroorganisme pada variabel pH 8



Gambar 4.38. Hubungan antara konsentrasi substrat dan laju pertumbuhan mikroorganisme pada variabel pre-klorinasi

BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1. Kesimpulan

Dari hasil penelitian dan pembahasan, dapat diambil beberapa kesimpulan antara lain :

- a. *Pre treatment* peningkatan pH limbah cair tapioka influen dapat menurunkan kadar polutan (TSS, CN^- , BOD dan COD) dan meningkatkan tingkat biodegradabilitas limbah yang selanjutnya mengakibatkan penurunan waktu aklimatisasi yang diperlukan untuk memperoleh kualitas efluen yang stabil dan peningkatan besarnya penurunan kadar polutan dalam pengolahan biologi metode ABR.
- b. Perbaikan kualitas efluen dan reduksi waktu aklimatisasi dapat dilakukan dengan perlakuan pre-klorinasi influen limbah cair tapioka sistem ABR.
- c. Proses kontinu yang dioperasikan setelah fase aklimatisasi mencapai *steady state* terbukti mampu menaikkan tingkat biodegradabilitas limbah dan menurunkan kadar polutan efluen lebih besar dibandingkan yang dihasilkan operasi aklimatisasi *batch* pada kondisi *steady state*.
4. Pre-klorinasi influen dapat menghasilkan pertumbuhan bakteri terbaik dalam bioreaktor dengan nilai μ_{\max} 2,579/hari, K_s 19,336 mg/L BOD, KI 0,864 mg/L CN^- dan yield 10,728 mg VSS/mg BOD.

5.2 Saran

Aplikasi proses pre-klorinasi dan pengaturan pH limbah cair tapioka influen pengolahan sistem ABR sebaiknya diujicobakan dalam skala lapangan sebagai salah satu alternatif rekomendasi desain untuk menghemat biaya pengolahan yang diperlukan.

Perlu dilakukan pemeriksaan kadar Tri Halo Metana (THM) efluen hasil pengolahan ABR dengan adanya proses pre-klorinasi influen.

BAB VI

RINGKASAN

Bab I laporan penelitian tesis ini memuat latar belakang, rumusan masalah, tujuan, manfaat dan batasan penelitian. Latar belakang penelitian menjelaskan bahwa limbah cair tapioka mengandung senyawa organik berkadar tinggi sehingga sesuai untuk diolah dalam suatu metode pengolahan anaerob laju tinggi seperti sistem ABR. Karakter lain yaitu pH asam dan tingginya kadar senyawa toksik CN^- ditengarai dapat mengakibatkan makin lamanya waktu *Aklimatisasi* diperlukan mikroorganisme untuk dapat bekerja stabil dan menurunnya kemampuan sistem dalam menghilangkan kadar COD sehingga perlu dilakukan suatu kajian untuk mempelajari pengaruh pengaturan pH dan penurunan kadar CN^- limbah cair tapioka terhadap kinerja sistem ABR. Tolok ukur performa sistem ABR yang keberhasilannya dapat dipengaruhi oleh adanya proses pengaturan pH dan penurunan kadar CN^- influen diterangkan lebih detail dalam rumusan masalah. Penelitian ini bertujuan untuk mengkaji kinerja pengolahan limbah cair tapioka metode ABR guna peningkatan efisiensi pengolahan limbah cair tapioka yang sudah ada dengan melakukan kajian mengenai pengaruh pengaturan pH dan proses pre-klorinasi influen terhadap waktu aklimatisasi, kualitas efluen baik dalam operasi aklimatisasi *batch* maupun aplikasi kontinu serta besarnya nilai parameter kinetika reaksi. Batasan masalah penelitian ini meliputi penentuan dosis kaporit hanya dilakukan berdasar stoikiometri reaksi, waktu tinggal limbah cair tapioka operasi kontinu ditetapkan berdasar waktu aklimatisasi diperlukan untuk mencapai kadar COD stabil dan perbandingan kualitas efluen antara operasi kontinu dan proses aklimatisasi *batch* hanya dilakukan pada kondisi saat dihasilkan kadar COD efluen stabil.

Bab II menyajikan teori dan hasil penelitian terdahulu yang berhubungan dan dapat digunakan untuk mengkaji masalah penelitian meliputi proses industri tapioka dan karakteristik limbah cair yang dihasilkan, metode penghilangan kadar CN^- , pengolahan biologi metode anaerob sistem ABR, tahapan proses *anaerobic digestion*, pertumbuhan mikroorganisme serta kinetika reaksi dan permodelannya.

Metode penelitian yang meliputi diagram alir penelitian, waktu dan tempat penelitian, bahan dan alat penelitian, rancangan variabel, rancangan penelitian dan proses analisis data disajikan secara lengkap di Bab III.

Bab IV yang memuat hasil dan pembahasan penelitian terbagi menjadi 7 sub bab yang terdiri dari karakteristik limbah dan inokulum, perbandingan karakteristik influen, pengaruh pengaturan pH dan proses pre-klorinasi terhadap proses aklimatisasi, aplikasi proses kontinu, kualitas efluen dan penentuan nilai parameter kinetika reaksi,

Bab V berisi kesimpulan dan saran. Kesimpulan berisi tiga poin penting yang merupakan inti hasil dan pembahasan penelitian. Kesimpulan pertama menyatakan bahwa proses *pre treatment* peningkatan pH limbah cair tapioka influen dapat menurunkan kadar polutan dan waktu aklimatisasi serta meningkatkan tingkat biodegradabilitas limbah. Kesimpulan kedua menjelaskan bahwa kualitas efluen dan reduksi waktu aklimatisasi dapat dilakukan dengan perlakuan pre-klorinasi influen limbah cair tapioka sistem ABR. Proses kontinu terbukti mampu menaikkan tingkat biodegradabilitas limbah dan menurunkan kadar polutan efluen lebih besar dibandingkan yang dihasilkan operasi *batch* merupakan isi dari kesimpulan ketiga. Kesimpulan keempat menjelaskan mengenai pre-klorinasi influen dapat menghasilkan pertumbuhan bakteri terbaik dalam bioreaktor dengan nilai μ_{\max} 2,579/hari, K_s 19,336 mg/L BOD, K_I 0,864 mg/L CN^- dan yield 10,728 mg VSS/mg BOD. Aplikasi proses pre-klorinasi dan pengaturan pH limbah cair tapioka influen pengolahan sistem ABR disarankan diujicobakan dalam skala lapangan sebagai salah satu alternatif rekomendasi desain untuk menghemat biaya pengolahan yang diperlukan. Perlu juga dilakukan pemeriksaan kadar THM efluen hasil pengolahan ABR dengan adanya proses pre-klorinasi influen.

DAFTAR PUSTAKA

- Abbassi, B.E. (2008). Effect of Hydraulic Loading Variations on the Performance of Decentralized Small Scale Activated Sludge Treatment Plant. *American-Eurasian J. Agric. & Environ. Sci.* 4(5): 617-624.
- Adams, D.J., J.V. Komen and T.M. Pickett (2001). *Biological Cyanide Degradation*. <http://www.inotec.us/uploads/5/1/2/8/5128753/tms-paper.pdf>. Accessed 15 March 2011.
- Ahmad, A. (2003). Penentuan Parameter Kinetika Proses Biodegradasi Anaerob Limbah Cair Pabrik Kelapa Sawit. *Jurnal Natur Indonesia* 6(1): 45-48
- Ahn, J.H., S. Lee and S. Hwang (2004). Modeling and Biokinetics in Anaerobic Acidogenesis of Starch Processing Wastewater to Acetic Acid. *Biotechn Prog.* 20(1): 636-638.
- Aiyuk, S., I. Forrez, D.K. Lieven, A.V. Haandel and W. Verstraete (2006). Anaerobic and Complementary Treatment of Domestic Sewage in Regions with Hot Climates—A Review. *Bioresour Technol* 97(1): 2225–2241.
- Alaerts, G. dan S.S. Santika (1986). *Metode Penelitian Air*. Surabaya: Penerbit Usaha Nasional.
- Alexiou, I.E. (1998). *A Study of Pre-Acidification Reactor Design For Anaerobic Treatment of High Strength Industrial Wastewaters*. Newcastle University: Ph.D Thesis.
- Alkarimiah, R., S.B. Mahat, A. Yuzir, M.F. Din and S. Chelliapan (2011). Operational Start-Up Performance of an Innovative Anaerobic Stage Reactor (ASR) using Synthetic Wastewater. *International Conference on Environment and Industrial Innovation*. September 10-11. Singapore: IACSIT Press, 133-137.
- Anonymous (2011). *Stabilization of Sewage Sludge by Means of Anaerobic Fermentation*. <http://www.pg.gda.pl/chem./Kaatedry/files/Stabilization.pdf>. Accessed 2 January 2012.
- Appels, L., J. Baeyens, J. Degreve and R. Dewil. (2008). Principles and Potential of the Anaerobic Digestion of Waste-Activated Sludge. *Progress in Energy and Combustion Science* 34(1): 755–781.
- Armenante, P.M. (1999). *Chemical Oxidation and Reduction*. <http://www.cpe.njit.edu/CHE685/CIs013-2.pdf>. Accessed 22 January 2012.
- Armenante, P.M. (1997). *Precipitation of Heavy Metals from Wastewaters*. <http://www.cpe.njit.edu/dinotes/CHE685/CIs06-2.pdf>. Accessed 22 January 2012.
- ASTi (2000). *Cyanide Wastes*. http://www.astisensor.com/Cyanide_Waste_Treatment.pdf. Accessed 29 January 2012.
- Bagus, I.N. (2008). *Aklimatisasi dan Perancangan Bioreaktor Anaerobik untuk Pengolahan Limbah Cair dengan Konsentrasi Garam Tinggi*. Institut Pertanian Bogor: Skripsi.
- Botz, M.M. (2002). *Overview of Cyanide Treatment Methods*, England: Elbow Creek Engineering Inc.
- BSNI (2011). Cara Uji Sianida Secara Spektrofotometri. http://www.sisni.bsn.go.id/index.php./sni/detail_sni/11150. Diakses 7 Desember 2011
- Budhi, Y.B., T. Setiadi dan B. Harimurti (1999). Peningkatan Biodegradabilitas Limbah Cair Printing Industri Tekstil Secara Anaerob, *Prosiding Seminar Nasional Teknik Kimia Soehadi Reksowardojo*, 19-20 Oktober 1999, Institut Teknologi Bandung, 157-164.
- Budiastuti, H. (2004). *Intensification of Single Stage Continuously Stirred Tank Anaerobic Digestion Process Using Carriers*. Murdock University: Ph.D Thesis.
- Budiyono, T. Setiadi dan I.G. Wenten (2003). Aktifitas Mikroba Lumpur Aktif Konsentrasi Tinggi Pada Sistem Lumpur Aktif-Membran. *Reaktor* 7(1): 27-32.

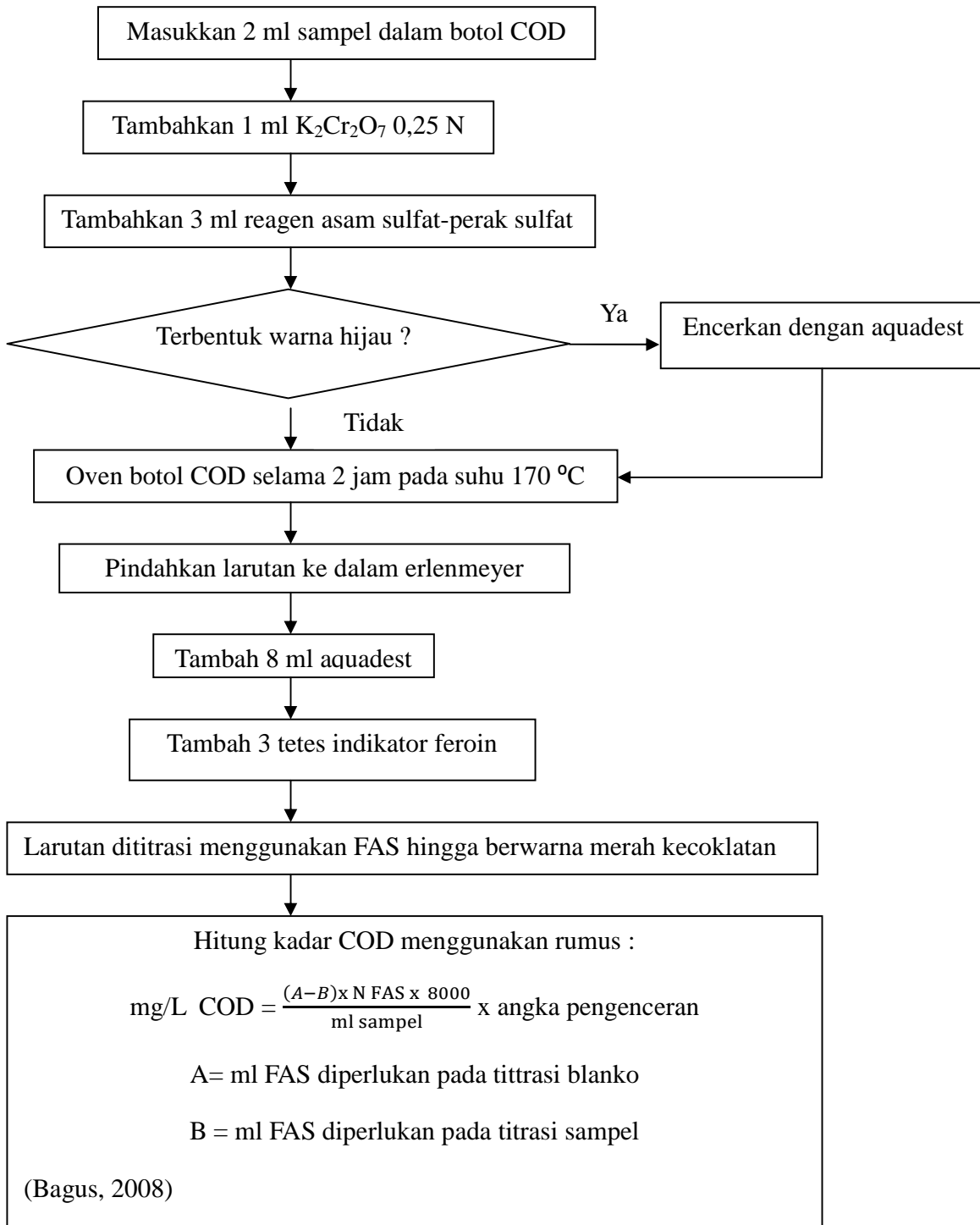
- Chemaqua (2010). *The Activated Sludge Process*. <http://www.chemaqua.com.html>. Accessed 4 January 2011.
- Davis, M.L. and D.A. Cornwell (1991). *Introduction to Environmental Engineering*. second edition. New York: Mc Graw Hill International.
- Dubuorguier H.C. (2008). *Basic Principles of Biological Engineering for Anaerobic Digestion*. <http://claroline.eau.ee/>. Accessed 21 January 2012.
- Ebbs, S. (2004). Biological Degradation of Cyanide Compounds. *Biotechnology* 15(1): 231-236.
- Ferraz, F.M., A.T. Bruni and V.L.D. Bianchi (2009). Performance of an ABR in Treatment of Cassava Wastewater. *Brazilian Journal of Microbiology* 40(1): 48-53.
- Foxon, K.M., C.A. Buckley, C.J. Brouckaert, P. Dama, Z. Mtembu, N. Rodda, M. Smith, S. Pillay, N. Arjun, T. Lalbahadur and F. Bux (2006). *The Evaluation of the Anaerobic Baffled Reactor for Sanitation in Dense Peri-Urban Settlements*. Durban: Report to the Water Research Commission.
- Foxon, K.M., P. Dama, C.J. Brouckaert, C.A. Buckley (2001). *Design Considerations for the Implementation of an ABR in Low Income Settlements in Kwa-zulu Natal*. Durban: Pollution Research Group, School of Chemical Engineering University of Natal.
- Gerber, M. (2008). An Analysis of Available Mathematical Models for Anaerobic Digestion of Organic Substances for Production of Biogas. *International Gas Union Research Conference 2008*. August 7. Paris: IGRC, 1-30.
- Gijzen H.J., E. Bernal, H. Ferrer (2000). Cyanide Toxicity and Cyanide Degradation in Anaerobic Wastewater Treatment *Wat. Res.* 34(9): 2447-2454.
- Grobicki A. and D.C. Stuckey (1990). Performance of the Anaerobic Baffled Reactor Under Steady-State and Shock Loading Conditions. *Biotechnology and Bioengineering* 37(1): 344-355.
- Harder W. and J.G. Kuenen (1977). A Review Microbial Selection in Continuous Culture. *Journal of Applied Bacteriology* 43(1): 1-24.
- Haydar, S. and J.A. Azis (2009). Kinetic Coefficients for the Biological Treatment of Tannery Wastewater Using Activated Sludge Process. *Pak. J. Engg. & Appl. Sci.* 5(1): 39-43.
- Hermana, J. *Pengolahan Biologis Aerobik Sistem Tersuspensi dan Terlekat*. <http://www/its.ac.id/ambilfile.php?idp=1374>. Diakses 17 Juni 2011.
- Hooi, K.B. (2009). *Treatment of Wastewater Containing Cyanide using Locally Isolated Bacteria with Immobilized onto Bioparticles*. Universiti Teknologi Malaysia: Master Thesis.
- Hudson, K. (2010). *Operational Performance of the Anaerobic Baffled Reactor Used to Treat Wastewater from a Peri-Urban Community*. University of the Witwatersrand: Master Thesis.
- Indriani, T. dan W. Herumurti (2010). *Studi Paket Pengolahan Grey Water Model Kombinasi ABR-Anaerobic Filter*. Institut Teknologi Sepuluh November: Skripsi.
- Indriyani (2009). *Pemanfaatan Limbah Rumah Makan dan Industri Gula (Molase) Untuk Industri Biogas*. Universitas Sebelas Maret: Skripsi.
- Iriarte, U., J.I.A. Uruarte, R.L. Fonseca and J. R.G. Velasco (2003). Trihalomethane Formation in Ozonated and Chlorination Surface Water. *Environ Chem Lett* 1: 57-61.
- Isyuniarto, W. Usada, Suryadi dan A. Purwadi (2007). Proses Ozonisasi pada Limbah Cair Industri Gula. *Jurnal Kimia Indonesia* 2(1): 1-5.
- Kaewkannetra, P., T. Imai, F.J. Garcia and T.Y. Chiu (2009). Cyanide Removal from Cassava Mill Wastewater Using *Azotobacter vinelandii* TISTR 1094 with Mixed Microorganisms in Activated Sludge Treatments. *Journal of Hazardous Materials* 172(1): 224-228.

- Kalyandurg, I.B. (2003). *Study of Reaction Kinetics of a Submerged Membrane Activated Sludge Process*. King Fahd University of Petroleum and Minerals: P.hD Thesis.
- Khanal, S.K. (2008). Overview of Anaerobic Biotechnology. Accessed 27 October 2011.
- Khrisna, G. and P. Kumar (2007). Treatment of Low-Strength Soluble Wastewater Using an ABR. *Journal of Environmental Management* 20(1): 1-11.
- Koottatep, T., S. Wanasen, A. Morel, R. Schertenleib (2004). *Potential of the ABR as Decentralized Wastewater Treatment System in the Tropics*. <http://www.mendeley.com/potential-anaerobic-baffled-reactor-ecentralized-wastewater-treatment-system-tropics>. Accessed 10 September 2006.
- Kuang, Y. (2002). *Enhancing Anaerobic Degradation of Lipids in Wastewater by Addition of Co-substrate*. School of Environmental Science Murdoch University: P.hD Thesis.
- Leentvar J. and M. Rebhun (1982). Effect of Magnesium and Calcium Precipitation on Coagulation-Flocculation With Lime. *Water Res.* 16(1): 655-662.
- Li, J., B. Li, G. Zhu, N. Ren, L. Bo and J. He (2007). Hydrogen Production From Diluted Molasses by Anaerobic Hydrogen Producing Bacteria in an ABR. *International Journal of Hydrogen Energy* 32(1): 3274–3283.
- Lou, I. and F.L.D. Reyes (2006). *A New Framework for Analyzing Filamentous Bulking in Activated Sludge: Roles for Kinetics and Diffusion*. <http://www.enviromentalexpert.com/Files%scs306%scarticles%5C12654.pdf>. Accessed 27 July 2011.
- Mai, H.N.P. (2006). *Integrated Treatment of Tapioca Processing Industrial Wastewater*. Wageningen University: Ph.D Thesis.
- Mang (2011). *Introduction in the Technical Design for Anaerobic Treatment Systems*:<http://www.sswm.info/MANG%20Introduction%20in%20the%20technical%20design%20for%20anaerobic%20treatment>. Accessed 28 July 2011.
- Marchaim, U. (1991). *Biogas Process for Sustainable Development*. <http://www.citeseerx.ist.tsu.edu/viewdoc/download?doi>. Accessed 17 Juny 2011.
- Mardani, S., A. Mirbagheri, M.M. Amin, M. Ghasemian (2011). Determination of Biokinetic Coefficients For Activated Sludge Processes on Municipal Wastewater. *Iran. J. Environ. Health. Sci. Eng.* 8(1): 25-34.
- Moletta, R. (2010). Anaerobic Digestion: Monitoring and Control. <http://www.ensam.infra.fr>. Accessed 18 March 2012.
- Molipane, N.P., W. Jones and P.D. Rose (2000). Hydrolysis and Enzyme Characterization of Sewage Sludge as a Carbon Source for Acid Mine Drainage Wastewater Treatment. *WISA 2000 Biennial Conference*. 28 May to 1 June 2000. South Africa: 1-9.
- Movahedian, H., A. Assadi and A. Parvaresh (2007). Performance Evaluation of ABR Treating Wheat Flour Starch Industry Wastewater. *Iran J. Environ. Health Sci. Eng.* 4 (2): 77-84.
- Mrafkova, L., M. Hutnan and M. Drtil (2000). Behaviour of Anaerobic Baffled Reactor Treating Nonacidified Wastewater. *Chem. Papers* 54(6b): 448-455.
- Muktasimbillah, M. (1997). *Studi Penurunan Kadar Sianida Pada Air Limbah Tapioka Dengan Pengolahan*. Universitas Diponegoro: Skripsi.
- Munazah, A.R. dan P. Soewondo (2008). *Penyisihan Organik Melalui Dua Tahap Pengolahan Dengan Modifikasi ABR dan Constructed Wetland Pada Industri Rumah Tangga*. Institut Teknologi Bandung: Tesis.
- Naveen, D., C.B. Majumder, P. Mondal and D. Shubha (2011). Biological Treatment of Cyanide Containing Wastewater. *Research Journal of Chemical Sciences* 1(7): 15-21.

- Nugrahini, P., T.M.R. Habibi, A.D. Safitri (2008). Penentuan Parameter Kinetika Reaksi Proses Anaerobik Campuran Limbah Cair Industri Menggunakan Reaktor UASB. *Prosiding Seminar Nasional Sains dan Teknologi-II 2008*. 17-18 November 2008. Universitas Lampung: 521-532.
- Nsimba E.B. (2009). *Cyanide and Cyanide Complexes in the Goldmine Polluted Land in the East and Central Rand Goldfields*, University of the Witwatersrand: P.hD Dissertation.
- Okpokwasili, G.C. and C.O. Nweke (2005). Microbial Growth and Substrate Utilization Kinetics. *African Journal of Biotechnology*. 5(4): 305-317.
- Olafadehan, O.A. and A.T. Alabi (2009). Modelling and Simulation of Methanogenic Phase of an Anaerobic Digester. *Journal of Engineering Research* 13(2): 1-16.
- Panos N.H. and M.R. Bellini (1999). Microbial Degradation of Cyanides. *Mine, Water and Environment IMWA Congress*. 3-4 October 2011. Spain: 201-206.
- Parga, J.R., S.S. Shukla and F.R.C. Pedroza (2003). Destruction of Cyanide Waste Solutions Using Chlorine Dioxide, Ozone and Titania Sol. *Waste Management* 23(1): 183–191.
- Pillay, S., K. Foxon, N. Rodda, M.T. Smith and C.A. Buckley (2006). *Microbiological Studies of an Anaerobic Baffled Reactor*. South African National Research Foundation, University of KwaZulu-Natal.
- Racho, P. (2009). *Investigation of Downflow Hanging Sponge System Using Bacterial and Fungal Cultures as a Post Treatment for The UASB Effluent of a Tapioca Starch Wastewater*. Suranaree University of Technology: P.hD Thesis.
- Rahayu, S.S dan S. Purnavita (2008). *Kimia Industri*. jilid 3. Jakarta: Departemen Pendidikan Nasional.
- Reynolds, T.D. (1986). *Unit Operations and Processes in Environmental Engineering*. California: Brooks Cole Engineering Division.
- Riyanti, F., P. Lukitowati dan trectAfriLianna (2010). Proses Klorinasi Untuk Menurunkan Kandungan Sianida dan Nilai KOK Pada Limbah Cair Tepung Tapioka. *Jurnal Penelitian Sains* 13(3): 34-39.
- Robinson, J.A. and J.M. Tiedje (1983). Nonlinear Estimation of Monod Growth Kinetic Parameters from a Single Substrate Depletion Curve. *Applied and Environmental Microbiology* 45(5): 1453-1458.
- Sani, E.Y. (2006). Pengolahan Air Limbah Tahu Menggunakan Reaktor Anaerob Bersekat dan Aerob. Universitas Diponegoro: Tesis.
- Schnurer, A. and A. Jarvis (2009). *Microbiological Handbook for Biogas Plants*. <http://www.ocfarmbiogas.ca/Microbiological%20Handbook%20for%20Biogas%20Plants.pdf>. Accessed 28 July 2011.
- Seejuhn, R., (2002). *Waste Audit in a Starch Tapioca Milk Processing Factory*. Asian Institute of Technology: Master Thesis.
- Seghezzo, L. (2004). *Anaerobic Treatment of Domestic Wastewater in Subtropical Regions*. Wageningen University: Ph.D Thesis.
- Setiadi, T., dan R.G. Dewi (2002). *Dasar-Dasar Teknologi Pengelolaan Limbah Industri*. <http://www.itb.ac.id/html>. Diakses Tanggal 1 Maret 2002.
- Setyawati R., K.K. Hirayama, H. Kaneko and K. Hirayama (2011). Current Tapioca Starch Management in Indonesia. *World Applied Science Journal* 14(5): 658-665.
- Sipma, J., M.B. Osuna, M.A. Emanuelsson and P.M.L. Castro (2010). *Biotreatment of Industrial Wastewaters under Transient-State Conditions: Process Stability with Fluctuations of*

- Organic Load, Substrates, Toxicants, and Environmental Parameters.*
<http://www.repositorio.ucp.pt/bitstream.pdf>. Accessed 28 July 2011.
- Smith, P.G. and J.G. Scott (2005). *Dictionary of Water and Waste Management*. second Edition. London: IWA Publishing.
- Snoeyink, V.L. and D. Jenkins (1979). *Water Chemistry*. New York: John Willey and Sons.
- Spanjers, H. and J.B.V Lier (2006). Instrumentation in Anaerobic Treatment– Research and Practice. *Water Science and Technology* 53 (4): 63-76.
- Srisertpol, J., P. Srinakorn, A. Kheawnak and K. Channiprasart (2010). Mathematical Modeling and Parameters Estimation of Shrimp of Culture Pond Sediment in a Biogas Process. *International Journal of Energy and Environment* 4(4): 213-220.
- State of Maine (2009). *Notes on Activated Sludge Process Control.*
http://www.maine.gov/der/activated_sludge_process_control.pdf. Accessed 28 March 2002.
- Stuckey, D.C., J. Plumb and L. Freese (2011). *The Treatment of Industrial Wastewaters in an Anaerobic Baffled Reactor (ABR): Acclimation and Microbial Ecology using 16s rRNA Molecular Probes.* <http://www.imperial.ac.uk/pls/portallive.pdf>. Accessed 4 July 2011.
- Sugiharto (1987). *Dasar-Dasar Pengelolaan Limbah*. Jakarta: Universitas Indonesia Press.
- Sundstrom, D.W. and H.E. Klei (1979). *Wastewater Treatment*. Englewood Cliffs: Prentice-Hall Inc.
- Tabatabaei, M., A. Sulaiman, A.M. Nikbakht, N. Yusof and G. Najafpour (2011). Influential Parameters on Biomethane Generation in Anaerobic Wastewater Treatment Plants. Accessed 4 October 2011.
- Taherzadeh, M.J. and K. Karimi (2008). Pretreatment of Lignocellulosic Wastes to Improve Ethanol and Biogas Production: A Review. *Int. J. Mol. Sci.* 9(1): 1621-1651.
- Tchobanoglous, G., F.L. Burton and H.D. Stensel (2003). *Wastewater Engineering Treatment and Reuse*. third edition. China: Mc Graw Hill Inc.
- Vanrolleghem, P. (2003). *Sewage: Characteristics and Treatment.*
<http://www.biomath.urgent.be/peter/php/pvr301.pdf>. Accessed 27 July 2011.
- Wang, X., S. Zhang, J. Wang, X. Yu and X. Lu (2012). Exploring Optimal Feed to Microbes Ratio for Acidogenic Fermentation of Cassava Residue from Brewery. *Bioresources* 7(1): 1111-1122.
- Wibowo, M.A. (2009). *Pertumbuhan Mikroorganisme.*
<http://www.download.f.a.itb.ac.id/Pertumbuhan%20Mikroorganisme.pdf>. Diakses 4 Mei 2011.
- Yu, H.Q. and H.H.P. Fang (2003). Acidogenesis of Gelatin-Rich Wastewater in an Upflow Anaerobic Reactor: Influence of pH and Temperature. *Water Research* 37 (1) 55–66.
- Zaher, U.E.S. (2005). *Modelling and Monitoring the Anaerobic Digestion Process in View of Optimisation and Smooth Operation of WWTP's*. Ghent University: P.hD Thesis.

Lampiran 1. Prosedur Analisa COD



Lampiran 2. Prosedur Analisa BOD

d. Encerkan sampel dengan menggunakan larutan pengencer dengan pedoman penentuan volume larutan yang harus diencerkan sebagai berikut :

➤ Bila COD sampel telah diketahui, maka taksiran kadar BOD yang terdekat adalah sebagai berikut :

R(Rendah): Sampel sedikit bersifat biodegradable

$$BOD_{R \text{ (rendah)}} = 0.16 \times \text{COD}$$

S (Sedang): Sampel cukup bersifat biodegradable

$$BOD_{S \text{ (sedang)}} = 0.32 \times \text{COD}$$

T (Tinggi) : Sampel sangat bersifat biodegradable

$$BOD_{T \text{ (Tinggi)}} = 0.65 \times \text{COD}$$

BOD ₅ Perkiraan	ml sampel yang harus diencerkan sampai menjadi 2 liter	Derajat pengenceran, P
0 - 8	1000	0.5
15	500	0.25
30	250	0.125
60	125	0.0625
125	60	0.03
250	30	0.015
500	15	0.0075
1000	8	0.004
2000	4	0.002
4000	2	0.001

e. Dua botol BOD diisi dengan larutan R (satu untuk analisa pada saat $t = 0$ hari yaitu botol R₁, dan yang satu lagi untuk analisa pada saat $t = 5$ hari yaitu botol R₂)

f. Buat larutan S dengan memindahkan 1 liter larutan R kedalam labu takar 2 liter dan pengisiannya sampai penuh dengan 1 liter air pengencer.

- g. Buat larutan T dengan memindahkan 1 liter larutan S ke dalam labu takar 2 liter, lalu diisi sampai penuh dengan air pengencer
- h. Dua botol BOD diisi dengan air pengencer (larutan kerja) berlaku sebagai blanko
- i. Botol – botol BOD (sampel dan blanko) lalu disimpan dalam inkubator (suhu $20^{\circ}\text{C} \pm 1^{\circ}\text{C}$) selama kira-kira 1 jam. Kalau suhu larutan tersebut sebelumnya lebih tinggi daripada 20°C , maka akan terjadi penurunan volum dalam botol. Setelah 1 jam botol tersebut dibuka sebentar lalu diisi dengan air pengencer sehingga di dalam botol tertutup tidak ada gelembung udara.
- j. Separuh dari jumlah botol-botol BOD tersebut lalu disimpan terus dalam inkubator (suhu $20^{\circ}\text{C} \pm 1^{\circ}\text{C}$) selama 5 hari. Separuhnya dikeluarkan untuk analisa oksigen terlarut.

Perhitungan :

$$\text{BOD}_5^{20} = \frac{(X_0 - X_5) - (B_0 - B_5)(1 - P)}{P}$$

BOD_5^{20} : sebagai mg O_2 /liter

X_0 : OT (oksigen terlarut) sampel pada saat $t = 0$ (mg O_2 /liter)

X_5 : OT sampel pada saat $t = 5$ hari (mg O_2 /liter)

B_0 : OT blanko pada saat $t = 0$ (mg O_2 /liter)

B_5 : OT blanko pada saat $t = 5$ hari (mg O_2 /liter)

P : derajat pengenceran

CARA KERJA ANALISA OKSIGEN TERLARUT

- Ke dalam sampel yang sudah ada di dalam botol Winkler tambahkan dengan pipet 2 ml larutan mangan sulfat di bawah permukaan cairan.
- Kemudian tambahkan 2 ml larutan alkali iodide azida dengan pipet yang lain.
- Botol ditutup kembali dengan hati-hati untuk mencegah terperangkapnya udara dari luar, kemudian di kocok dengan membalik-balikkan botol beberapa kali.
- Biarkan gumpalan mengendap selama 10 menit (atau gumpalan terbentuk 1 cm dari dasar). Bila proses pengendapan sudah sempurna, maka bagian larutan yang jernih dikeluarkan dari botol dengan menggunakan pipet ke dalam erlenmeyer 500 ml.

- e. Tambahkan 2 ml H_2SO_4 pekat pada sisa larutan yang mengendap pada botol Winkler, dengan cara mengalirkan H_2SO_4 pekat melalui dinding dalam leher botol, kemudian botol segera ditutup kembali.
- f. Botol digoyangkan dengan hati-hati sehingga semua endapan melarut. Seluruh isi botol dituangkan secara kuantitatif ke dalam erlenmeyer 500 ml yang telah terisi bagian bening dari botol Winkler.
- g. Lakukan titrasi dengan larutan tiosulfat 0,025 N sehingga terjadi warna coklat muda.
- h. Tambahkan indikator kanji 1-2 ml dan akan timbul warna biru. Titrasi dengan tiosulfat dilanjutkan, sehingga warna biru hilang pertama kali (setelah beberapa menit akan timbul lagi).

PERHITUNGAN :

$$\text{OKSIGEN TERLARUT (OT)} = \frac{a.N.8000}{V - 4}$$

Keterangan :

OT : Oksigen terlarut (mg O_2/L)

a : volum titran natrium tiosulfat (ml)

N : Normalitas larutan natrium tiosulfat (N)

V : Volum botol Winkler (ml)

Lampiran 3. Prosedur Analisa CN^-

Uji kadar CN^- akan dilakukan dengan tahapan kerja :

B. Distilasi sampel limbah cair

- Masukkan 500 ml sampel limbah cair yang mengandung sianida tidak lebih dari 10 mg CN^-/L ke dalam labu distilasi 1000 ml.
- Masukkan sekitar 10 butir batu didih berdiameter 2-3 mm.
- Tambahkan 10 ml larutan NaOH 1 N, 50 mg PbCO_3 , 2 gram asam sulfamat, 50 ml H_2SO_4 1:1 dan 20 ml larutan MgCl_2 ke dalam labu distilat.
- Atur kecepatan refluks 40-50 tetes/menit
- Lakukan distilasi sekurang-kurangnya selama 1 jam
- Hentikan pemanasan pada labu distilasi jika hasil distilat didapat tidak lebih dari 225 ml
- Dinginkan distilat dan masukkan ke dalam labu ukur 250 ml.

C. Standarisasi larutan induk CN^-

- Pipet sejumlah volume larutan induk CN^- .
- Encerkan menjadi 100 ml dengan larutan pengencer NaOH 0,16 %.
- Tambahkan 0,5 ml indikator p-dimethyl aminobenzal rhodanine.
- Titrasi dengan AgNO_3 sampai ada perubahan warna dari kuning menjadi merah kekuningan.

D. Standarisasi AgNO_3

- Pipet 100 ml NaCl 0,0141 M
- Tambahkan 1 ml indikator K_2CrO_4
- Titrasi dengan AgNO_3

E. Pembuatan kurva kalibrasi

- Buat satu blanko dan deretan larutan kerja minimal 3 kadar yang berbeda secara proporsional dan berada dalam rentang pengukuran.
- Tambahkan 1 ml bufer asetat, homogenkan.
- Tambahkan 2 ml kloramin-T dan biarkan selama 2 menit.
- Tambahkan segera 5 ml larutan asam barbiturat piridin.
- Homogenkan secara perlahan.
- Diamkan selama 8 menit hingga terbentuk senyawa kompleks yang berwarna stabil.
- Baca nilai serapannya menggunakan spektrofotometer pada panjang gelombang 575-582 nm.

- Plot kurva standar dengan nilai serapan sebagai sumbu y dan mg/L CN⁻ sebagai sumbu x.
- Jika linearitas kurva kalibrasi lebih kecil dari 0,995, periksa kondisi alat dan ulangi pengukuran hingga didapat nilai $r \geq 0,995$.

F. Analisa kadar sianida

- Pipet sejumlah volume sampel hasil distilasi.
- Tambahkan 40 ml larutan NaOH 0,16 %.
- Tambahkan 1 ml bufer asetat, homogenkan.
- Tambahkan 2 ml kloramin-T dan biarkan selama 2 menit.
- Tambahkan segera 5 ml larutan asam barbiturat piridin.
- Homogenkan secara perlahan.
- Diamkan selama 8 menit hingga terbentuk senyawa kompleks yang berwarna stabil.
- Baca nilai serapannya menggunakan spektrofotometer pada panjang gelombang 575-582 nm.
- Plot nilai serapan pada kurva kalibrasi.
- Hitung kadar mg/L sianida.

$$\text{Kadar sianida (mg/L CN}^-) = \frac{25C}{V}$$

Di mana C = mg/L CN⁻ hasil pembacaan kurva kalibrasi.

V = Volume sampel yang diambil untuk analisis.

(BSNI, 2011)

Lampiran 4. Prosedur Analisa MLSS dan MLVSS

- Panaskan kertas saring Whatman 42 dalam oven pada suhu 105 °C selama 1 jam
- Dinginkan dalam desikator selama 15 menit
- Timbang dengan cepat
- Ulangi pemanasan sampai didapatkan berat konstan atau kehilangan berat sesudah pemanasan ulang kurang dari 0,5 mg
- Saring 10 ml sampel yang sudah dikocok merata
- Panaskan kertas saring dan residu dalam oven pada suhu 105 °C selama 1 jam
- Dinginkan dalam desikator selama 15 menit
- Timbang dengan cepat
- Ulangi pemanasan sampai didapatkan berat konstan atau kehilangan berat sesudah pemanasan ulang kurang dari 0,5 mg

$$\text{mg/L MLSS} = (a-b)/c$$

di mana :

a = berat kertas saring dan residu sesudah pemanasan pada suhu 105 °C (g)

b = berat kertas saring kering sesudah pemanasan pada suhu 105 °C (g)

c = volume sampel (ml)

- Timbang cawan yang sudah dipanaskan dalam furnace selama 2 jam
- Masukkan kertas saring kering dan residu hasil pemanasan analisa MLSS pada cawan
- Panaskan cawan dalam *furnace* pada suhu 550 °C selama 2 jam
- Pindahkan cawan dan residu hasil pemanasan furnace ke dalam oven pada suhu 105 °C
- Dinginkan dalam desikator selama 30-60 menit
- Timbang dengan cepat

$$\text{mg/L MLVSS} = (d+a-e)/c$$

di mana : d = berat cawan kosong sesudah pemanasan pada suhu 550 °C (g)

e = berat cawan dan residu sesudah pemanasan pada suhu 550 °C (g)

(Alaerts dan Santika, 1984)

Lampiran 5. Prosedur Analisa Kadar Klor Aktif Dalam Kaporit

Penentuan kadar klor aktif dalam kaporit

- Pipet 10 ml larutan kaporit 0,1 % masukkan ke dalam labu ukur 100 ml
- Tepatkan volumenya dengan aquadest sampai tanda batas
- Pindahkan larutan ke dalam Erlenmeyer 250 ml
- Tambah 1 gr KI
- Aduk sampai KI larut
- Tambahkan 4 ml asam asetat glacial
- Titrasi dengan Natrium Thio Sulfat sampai warna kuning muda
- Tambahkan 4 ml larutan amilum
- Lanjutkan titrasi sampai warna biru tepat hilang (hasil titrasi = A)

Catatan :

- Pada analisa blanko, setelah ditambah KI langsung ditambah amilium
- Jika tidak terbentuk warna biru, B = 0
- Jika terbentuk warna biru, titrasi dengan natrium thio sulfat sampai warna biru tepat hilang

PERHITUNGAN

- Kandungan Klor Aktif (mg/L Cl₂)

= (1000 x (A-B) x N Natrium thio sulfat x 35,43) / Volume larutan kaporit dipipet

- Kadar klor aktif dalam kaporit

= Kandungan klor aktif / Konsentrasi larutan kaporit x 100 %

(Alaerts dan Santika, 1984)

Lampiran 6. Estimasi Parameter Kualitas Efluen

Tabel 5. % selisih pH eksperimen dan estimasi variabel kontrol

t (hari ke)	pH estimasi	pH eksperimen	% selisih
0	4,674	4,84	3,560
1	5,378	5,2	3,315
2	5,947	5,85	1,631
3	6,413	6,49	1,209
4	6,8	6,84	0,624
5	7,119	7,24	1,705
6	7,388	7,31	1,050
7	7,614	7,77	2,046
8	7,806	7,78	0,327
9	7,968	7,79	2,230

Tabel 6. % selisih CN eksperimen dan estimasi variabel kontrol

t (hari ke)	CN estimasi	CN eksperimen	% selisih
0	59,242	56,7	4,291
1	50,905	50,13	1,523
2	43,742	43,88	0,316
3	37,586	38,19	1,606
4	32,297	33	2,177
5	27,752	28,25	1,794
6	23,847	24,64	3,327
7	20,491	21	2,485
8	17,607	17,67	0,357
9	15,129	14	7,465

Tabel 7. % selisih BOD eksperimen dan estimasi variabel kontrol

t (hari ke)	BOD estimasi	BOD eksperimen	% selisih
0	3969	3976	0,176
1	3758.8	3827	1,782
2	3681.7	3752	1,873
3	3636.9	3709	1,944
4	3578.7	3553	0,718
5	3473.3	3451	0,642
6	3272.9	3258	0,455
7	2884.7	2787	3,386
8	2111.3	1998	5,366
9	512.6	637	19,529

Tabel 8. % selisih MLVSS eksperimen dan estimasi variabel kontrol

t (hari ke)	MLVSS estimasi	MLVSS eksperimen	% selisih
0	2259,9	3370	32,941
1	1385,4	770	44,420
2	941,1	772	17,968
3	721,4	775	6,916
4	633,5	780	18,782
5	642,4	785	18,166
6	751,6	793	5,221
7	1004,9	807	19,693
8	1510,9	1608	6,039
9	2508,6	2436	2,894

Tabel 9. % selisih pH eksperimen dan estimasi variabel pH 7

t (hari)	pHestimasi	pHeksperimen	% selisih
0	6,323	7	10,702
1	6,086	5,77	5,184
2	5,161	4,99	3,317
3	4,861	4,65	4,343
4	4,705	4,74	0,735
5	4,618	5,61	21,494
6	4,566	7,64	67,316

Tabel 10. % selisih CN eksperimen dan estimasi variabel pH 7

t (hari)	CNestimasi	CNeksperimen	% selisih
0	59,158	48,3	18,355
1	36,016	35,78	0,655
2	21,927	25,11	14,517
3	13,349	16,29	22,0298
4	8,127	9,32	14,678
5	4,948	4,2	15,114
6	3,012	2,73	9,372

Tabel 11. % selisih BOD eksperimen dan estimasi variabel pH 7

t (hari)	BODestimasi	BODEksperimen	% selisih
0	2231,7	2258	1,164
1	1998,2	1935	3,163
2	1789	1837	2,613
3	1564,8	1213	22,482
4	1286,1	987	23,256
5	902	691	23,392
6	337,5	379	10,950

Tabel 12. % selisih MLVSS eksperimen dan estimasi variabel pH 7

t (hari)	MLVSS estimasi	MLVSS eksperimen	% selisih
0	3502,9	3483	0,568
1	3138,4	3135	0,108
2	2975	3090	3,722
3	2987,3	2944	1,445
4	3176,9	2915	8,244
5	3573,8	3956	9,661
6	4242,4	4103	3,285

Tabel 13. % selisih pH eksperimen dan estimasi variabel pH 8

t (hari)	pHestimasi	pHEksperimen	% selisih
0	7,138	8	12,070
1	7,235	7,34	1,451
2	7,317	7,28	0,503
3	7,389	7,32	0,931
4	7,458	7,46	0,0255
5	7,545	7,6	0,731
6	7,474	7,61	1,822

Tabel 14. % selisih CN eksperimen dan estimasi variabel pH 8

t (hari)	CNestimasi	CNEksperimen	% selisih
0	35,227	44,38	20,625
1	23,051	24,72	6,751
2	15,084	9,3	38,445
3	9,870	9,21	6,691
4	6,459	8,37	22,834
5	4,226	3,78	10,562
6	2,766	3,07	9,912

Tabel 15. % selisih BOD eksperimen dan estimasi variabel pH 8

t (hari)	BODestimasi	BODEksperimen	% selisih
0	1845,8	2199	16,061
1	1546,8	1912	19,100
2	1255,4	855	31,894
3	954,7	415	56,531
4	633,5	371	41,436
5	275,1	319	13,762
6	136,4	304	55,230

Tabel 16. % selisih MLVSS eksperimen dan estimasi variabel pH 8

t (hari)	MLVSSestimasi	MLVSSeksperimen	% selisih
0	4110,9	4158	1,133
1	4003,6	3976	0,694
2	3959,9	3895	1,666
3	3978,1	3946	0,813
4	4058,9	4144	2,054
5	4205,7	4267	1,437
6	4424,5	4358	1,526

Tabel 17. % selisih pH eksperimen dan estimasi variabel preklorinasi

t (hari)	pHestimasi	pHeksperimen	% selisih
0	7,346	7,35	0
1	7,333	7,3	0,219
2	7,317	7,21	0,472
3	7,295	7,25	0,276
4	7,262	7,26	0,248
5	7,262	7,28	1,22E-14

Tabel 18. % selisih CN eksperimen dan estimasi variabel preklorinasi

t (hari)	CNestimasi	CNeksperimen	% selisih
0	2,409	2,4	0,390
1	2,389	2,39	0,050
2	2,368	2,38	0,494
3	2,348	2,35	0,089
4	2,328	2,33	0,095
5	2,308	2,3	0,338

Tabel 19. % selisih MLVSS eksperimen dan estimasi variabel preklorinasi

t (hari)	MLVSSestimasi	MLVSSeksperimen	% selisih
0	478,3	543	11,915
1	1563,5	1169	33,747
2	3397	4079	16,720
3	5482,7	5587	1,867
4	6899,8	6591	4,685
5	6903,3	6937	0,486

Tabel 20. % selisih BOD eksperimen dan estimasi variabel preklorinasi

t (hari)	BODestimasi	BODEksperimen	% selisih
0	870,928	878	0,812
1	665,912	667	0,163
2	404,793	405	0,051
3	312,022	312	0,007
4	246,719	246	0,291
5	229,495	230	0,220

Lampiran 7. Sampel Program MATLAB Digunakan

```
% permodelan kinetika inhibisi ABR variabel kontrol
clc
clear

% input persamaan laju pertumbuhan bakteri
X = [3370,770,772,775,780,785,793,807,1608,2436]; % mg/L MLVSS
I=[56.7,50.13,43.88,38.19,33,28.75,24.64,21,17.67,14]; % mg/L CN
pH = [4.84,5.2,5.85,6.49,6.84,7.24,7.31,7.77,7.78,7.79]; % pH
t = [ 0,1,2,3,4,5,6,7,8,9]; % hari

% mencari nilai laju pertumbuhan bakteri
y=(log(X)).^2;
x=t;
[P S] = polyfit(x,y,2);
a=P(1)
b=P(2)
c=P(3)

M=abs(b/(2*c.^0.5))
Xest = exp((a*x.^2+b.*x+c).^0.5)
plot(t, X,'o', t, Xest, '-')
xlabel ('t, (Hari ke)'); ylabel('X, (mg/L MLVSS)');
legend('Eksperimen','Estimasi')

% mencari nilai konstanta laju reaksi penurunan sianida
y=log(I);
x=t;
[P S] = polyfit(x,y,1);
k=-P(1)
Io=exp (P(2))

% mencari nilai Iestimasi
y = log(Io) -k*t
Iest = exp(y)
```

```

plot(t, I,'o', t, Iest, '-')
xlabel ('t, (Hari ke)'); ylabel('I, (mg/L CN)');
legend('Eksperimen', 'Estimasi')

%yield.m
Xt = [0,770,1544,2325,3120,3925,4758,5649,12864,21924]; %absis
S = [3976,3827,3752,3709,3553,3451,3258,2787,1998,637]; %ordinat
n=length(S);
A = [sum(Xt.^2),sum(Xt)
      sum(Xt), n];
c = [sum(S.* Xt)
      sum(S)];
a = A\c
Smod =a(1)* Xt +a(2);

% mencari nilai yield
Y = abs(M./a(1))
So=a(2)

% mencari nilai Sestimasi
Xestt=[0,1367.6,1869.4,2160.6,2539.2,3225,4529.4,7054.6,12087.2,22488.3]
Sest= a(1)* Xestt +So
plot(t, S,'o', t, Sest, '-')
xlabel ('t, (Hari ke)'); ylabel ('S, (mg/L BOD)');
legend('Eksperimen','Estimasi')

global t pH Mmax Ks KI pHest

t = [ 0,1,2,3,4,5,6,7,8,9];

pH = [4.84,5.2,5.85,6.49,6.84,7.24,7.31,7.77,7.78,7.79];

param=[1.28,314.707,24.222];

```

```

lb=[0.5,0,0];
ub=[2,700,40];
%lb mengacu kepada batas bawah
%ub mengacu kepada batas atas

options = optimset('Display','iter','TolFun', 1e-4,...%default; 1e-4
'TolX',1e-5,...%default; 1e-4
'LevenbergMarquardt','on',...%default; on
'LargeScale','on') %default: on

% fminsearch: fungsi objektif
[param, feval,exitflag,output] = fminsearch(@sse,lb,ub,options,param); disp(' ')

Mmax=param(1);

Ks= param(2);

KI=param(3);

param=fminsearch(@sse,[param]);

Mmax=param(1);

Ks= param(2);

KI=param(3);

disp(['Mmax= ', num2str(param(1))])
disp(['Ks = ', num2str(param(2))])
disp(['KI = ', num2str(param(3))])

% Persamaan eksplisit
MS= Mmax*Sest
KS= Ks+Sest
IKI=1+(Iest/ KI)
MSKS=MS/KS

```

```
MSI=MSKS*(1./IKI)
```

```
MpH =M*(1./MSI)
```

```
% mencari nilai laju pertumbuhan bakteri inhibisi pH
```

```
y=MpH;
```

```
x=pH;
```

```
[P S] = polyfit(x,y,2);
```

```
a=P(1)
```

```
b=P(2)
```

```
c=P(3)
```

```
% mencari nilai pHestimasi
```

```
p1=b^2-(4*a*(c-MpH))
```

```
p2=p1.^0.5
```

```
p3=-b+p2
```

```
pHest=p3./(2*a)
```

```
plot(t, pH,'o', t, pHest,'-')
```

```
xlabel ('t, (Hari ke)'); ylabel ('pH ');
```

```
legend('Eksperimen','Estimasi')
```

```
%program subrutin
```

```
e = sse(param)
```

```
global t pH Mmax Ks KI pHest
```

```
Mmax=param(1);
```

```
Ks= param(2);
```

```
KI=param(3);
```

```
MS= Mmax*Sest
```

```
KS= Ks+Sest
```

```
IKI=1+(Iest/ KI)
```

MSKS=MS/KS

MSI=MSKS*(1./IKI)

MpH =M*(1./MSI)

y=MpH;

x=pH;

[P S] = polyfit(x,y,2);

a=P(1)

b=P(2)

c=P(3)

p1=b^2-(4*a*(c-MpH))

p2=p1.^0.5

p3=-b+p2

pHest=p3./(2*a)

error=abs(pH-pHest);

sse=sum(error.^2)

return

KETERANGAN BUKTI
PERBAIKAN TESIS PENELITIAN

Berdasarkan perbaikan yang berdasar komentar Tim Penguji (Lampiran A) dan komentar masing-masing Anggota Penguji (Pada Form Penilaian Laporan Penelitian) pada saat ujian tesis, maka Tim Penguji menyatakan bahwa Laporan Penelitian :

Judul : PENGARUH PENGARUH PRE-KLORINASI DAN PENGATURAN PH TERHADAP PROSES AKLIMATISASI DAN PENURUNAN COD PENGOLAHAN LIMBAH CAIR TAPIOKA SISTEM *ANAEROBIC BAFFLED REACTOR*

Penulis : Happy Mulyani

NIM : 2103110400009

Telah diperbaiki oleh yang bersangkutan

Semarang, 11 Juni 2012

Tanda Tangan

Penguji :	1. Dr. Hadiyanto, ST, M.Sc	1.
	2. Ir. Indro Sumantri, M.Eng	2.
	3. Ir. Sumarno, M.Si	3.
Pembimbing :	1. Dr. Ir. Setia Budi Sasongko, DEA	1.....
	2. Ir. Danny Soetrisnanto, M.Eng	2.

