



TUGAS AKHIR - RE 184804

**EFEK TOKSISITAS ZAT ORGANIK TERHADAP EFISIENSI
DENITRIFIKASI**

SAILI NGULFIA KHOLIDA
0321154000047

DOSEN PEMBIMBING
Prof. Dr. Ir. Sarwoko Mangkoedihardjo, MscES

DEPARTEMEN TEKNIK LINGKUNGAN
Fakultas Teknik Sipil Lingkungan dan Kebumihan
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya 2019



TUGAS AKHIR - RE 184804

**EFEK PERBEDAAN ZAT ORGANIK TERHADAP EFISIENSI
DENITRIFIKASI**

SAILI NGULFIA KHOLIDA
0321154000047

DOSEN PEMBIMBING
Prof. Dr. Ir. Sarwoko Mangkoedihardjo, MscES

DEPARTEMEN TEKNIK LINGKUNGAN
Fakultas Teknik Sipil Lingkungan dan Kebumihan
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya 2019



FINAL PROJECT - RE 184804

**EFFECT OF THE DIFFERENCE OF ORGANIC SUBSTANCES
TOWARD DENITRIFICATION EFFICIENCY**

SAILI NGULFIA KHOLIDA
0321154000047

SUPERVISOR
Prof. Dr. Ir. Sarwoko Mangkoedihardjo, MscES

DEPARTMENT OF ENVIRONMENTAL ENGINEERING
Faculty of Civil, Environmental, and Geo Engineering
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya 2019

LEMBAR PENGESAHAN

EFEK PERBEDAAN ZAT ORGANIK TERHADAP
EFISIENSI DENITRIFIKASI

TUGAS AKHIR

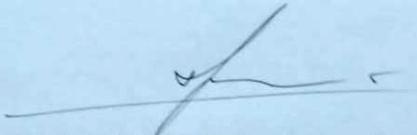
Diajukan Untuk Memenuhi Salah Satu Syarat
Memperoleh Gelar Sarjana Teknik
pada
Program Studi S-1 Departemen Teknik Lingkungan
Fakultas Teknik Sipil, Lingkungan, dan Kebumihan
Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Oleh:

SAILI NGULFIA KHOLIDA

NRP. 0321154000047

Disetujui Oleh Pembimbing Tugas Akhir:



Prof. Dr. Ir. Sarwoko Mangkoedihardjo, MScEs

NIP. 19540824 198403 1 001

SURABAYA

JULI, 2019



KATA PENGANTAR

Puji syukur penulis panjatkan ke hadirat Tuhan Yang Maha Esa karena atas berkat dan karunia-Nya penulis dapat menyelesaikan Tugas Akhir yang berjudul “Efek Perbedaan Zat Organik Terhadap Efisiensi Denitrifikasi” dengan tepat waktu. Tugas akhir ini diselesaikan sebagai salah satu syarat dalam memperoleh gelar sarjana teknik di Institut Teknologi Sepuluh Nopember, Surabaya.

Ucapan terimakasih terkhusus untuk keluarga saya terutama Bapak dan Ibu yang selalu memberikan doa dan semangat selama pengerjaan tugas akhir. Penulis tidak lupa menyampaikan terima kasih atas bantuan dan semangat yang telah diberikan oleh berbagai pihak antara lain:

1. Bapak Prof. Dr. Ir. Sarwoko Mangkoedihardjo, MScES selaku dosen pembimbing yang telah mengajar dan membimbing selama penyelesaian tugas akhir.
2. Ibu Harmin Sulistyaning Titah, ST., MT., PhD, Ibu Bieby Voijant Tangahu, ST., MT., PhD, Ibu IDAA Warmadewanti, ST., MT., PhD, dan Bapak Dr. Abdu Fadli Assomadi, S.Si., MT selaku dosen penguji yang telah memberikan saran dan bimbingannya.
3. Teman-teman Teknik Lingkungan ITS angkatan 2015 khususnya Widyanti sebagai teman penelitian penulis yang telah berjuang bersama dalam menyelesaikan tugas akhir.
4. Keluarga besar Kementerian Sosial Masyarakat BEM ITS kabinet Wahana Juang dan Gelora Aksi, terimakasih telah menemani penulis selama masa kuliah ini dengan canda tawa dan ilmu berorganisasi.
5. Semua pihak yang telah membantu dalam proses pengerjaan tugas akhir ini.

Dalam penyusunan tugas akhir ini tentunya masih terdapat banyak kekurangan, oleh karena itu kritik dan saran dari pembaca sangat diharapkan. Semoga tugas akhir ini dapat memberikan manfaat bagi pembaca dan pihak lainnya.

Surabaya, 28 Juni 2019

Penulis

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

EFEK PERBEDAAN ZAT ORGANIK TERHADAP EFEKTIFITAS DENITRIFIKASI

Nama Mahasiswa : Saili Ngulfia Kholida
NRP : 03211540000047
Departemen : Teknik Lingkungan
Dosen Pembimbing : Prof. Dr. Ir. Sarwoko Mangkoedihardjo,
MScES

ABSTRAK

Air limbah memiliki kandungan pencemar yang beragam salah satunya adalah nitrat. Senyawa nitrat adalah bentuk senyawa nitrogen yang merupakan senyawa yang stabil. Senyawa ini dapat berasal dari buangan industri bahan peledak, pupuk dan cat. Secara alamiah kadar nitrat relatif rendah, tetapi kadar ini dapat menjadi tinggi sekali pada air tanah di daerah-daerah yang diberi pupuk yang mengandung nitrat.

Pada penelitian ini digunakan limbah *artificial, denitrifier*, dan beberapa reagen yang digunakan untuk analisa parameter utama yaitu *Dissolved Oxygen* (DO), pH, Nitrat ($\text{NO}_3\text{-N}$), dan Karbonat. Variabel yang digunakan adalah variasi konsentrasi nitrat, variasi proses, dan pemberian katalis. Variasi konsentrasi nitrat yang digunakan adalah 20 mg/L, 40 mg/L, 40 mg/L, 60 mg/L, 80 mg/L, dan 100 mg/L. Variasi proses yang digunakan yaitu proses autotrof dan heterotrof. Katalis yang digunakan adalah selenium. Reaktor yang digunakan adalah reaktor denitrifikasi. Mikroorganisme yang digunakan adalah *Thiobacillus denitrificans*. Data penelitian diambil setiap hari untuk parameter Analisis Dissolved Oxygen (DO), pH, Nitrat ($\text{NO}_3\text{-N}$).

Berdasarkan uji statistik diperoleh pengaruh proses secara autotrof tanpa katalis sebesar 47,27%. Pengaruh proses secara heterotrof tanpa katalis sebesar 9,66%. Pengaruh proses secara autotrof dengan katalis sebesar 15,99%. Pengaruh proses secara heterotrof dengan katalis sebesar 0,89%.

Kata kunci: Autotrof, Denitrifikasi, Efisiensi, Heterotrof, Zat Organik

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

EFFECT OF THE DIFFERENCE ORGANIC SUBSTANCES TOWARD DENITRIFICATION EFFICIENCY

Student's name : Saili Ngulfia Kholida
NRP : 0321154000047
Departement : Teknik Lingkungan
Supervisor : Prof.Dr. Ir. Sarwoko Mangkoedihardjo, MScES

ABSTRACT

Wastewater has a variety of pollutants, one of it is nitrate. A nitrate is a form of nitrogen compound which is a stable compound. This compound come from industrial explosives, fertilizers, and paints. Naturally, the level of nitrate is relatively low, but this level can be very high in groundwater in areas that are given fertilizer containing nitrates.

In this research, artificial, denitrifier and several reagents were used to analyze the main parameters, namely Dissolved Oxygen (DO), pH, Nitrate (NO₃-N), and Carbonate. The variables in this research are variations in nitrate concentration, process variation, and catalyst administration. Variations in nitrate concentration used were 20 mg / L, 40 mg / L, 40 mg / L, 60 mg / L, 80 mg / L, and 100 mg / L. The process variations used are the autotroph and heterotroph processes. The catalyst used is selenium. The reactor used is a denitrification reactor. The microorganism used is Thiobacillus denitrificans. The research data was taken every day for the parameters of Dissolved Oxygen (DO), pH, Nitrate (NO₃-N) Analysis.

Based on the statistical test, the effect of autotrophic processes without catalyst is 47.27%. The effect of heterotrophic processes without catalyst at 9.66%. The effect of the autotrophic process with the catalyst is 15.99%. The effect of the heterotrophic process with the catalyst with a catalyst is 0.89%.

**Keywords: Autotroph, Denitrification, Efficiency,
Heterotroph, Organic Substance**

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

DAFTAR ISI

KATA PENGANTAR.....	v
ABSTRAK.....	iii
ABSTRACT.....	v
DAFTAR ISI.....	vii
DAFTAR GAMBAR.....	ix
DAFTAR TABEL.....	xi
BAB 1 PENDAHULUAN.....	1
1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Rumusan Masalah.....	3
1.3 Tujuan Penelitian.....	3
1.4 Ruang Lingkup.....	3
1.5 Manfaat Penelitian.....	3
BAB 2 TINJAUAN PUSTAKA.....	5
2.1 Pengertian Toksisitas.....	5
2.2 Siklus Nitrogen.....	6
2.3 Senyawa Nitrat.....	8
2.4 Proses Denitrifikasi.....	9
2.4.1 Proses Denitrifikasi secara Biologis.....	11
2.4.2 Kondisi Proses Denitrifikasi.....	12
2.5 Macam-macam Katalis.....	13
2.5.1 Katalis Fe.....	13
2.5.2 Katalis Selenium (Se).....	15
2.6 Faktor Penghambat Denitrifikasi.....	16
2.7 Proses Denitrifikasi secara Autotrof.....	17
2.8 Proses Denitrifikasi secara Heterotrof.....	17
2.9 Pengukuran Optical Density.....	18
2.10 Bakteri <i>Thiobacillus Denitrificans</i>	18
2.11 Mikroorganisme Autotrof dan Heterotrof.....	19
2.12 Daftar Penelitian Terdahulu.....	20
BAB 3 METODE PENELITIAN.....	23
3.1 Kerangka Penelitian.....	23
3.2 Ide Penelitian.....	23
3.3 Studi Literatur.....	24
3.4 Persiapan Penelitian.....	27
3.4.1 Pembuatan Reagen untuk Analisis Nitrat.....	27
3.4.2 Pembuatan Reagen untuk Analisis Karbonat.....	27
3.4.3 Pembuatan Media Nutrient Broth (NB).....	27

3.4.4 Pembuatan Larutan Fisiologis	28
3.4.5 Pembuatan Larutan Katalis	28
3.5 Persiapan Mikroba.....	28
3.6 Pelaksanaan Penelitian	28
3.6.1 Pembuatan Limbah <i>Artificial</i>	29
3.6.1 Pengukuran Optical Density	30
3.6.2 Pembuatan Reaktor.....	30
3.7 Hasil dan Pembahasan	31
BAB 4 HASIL DAN PEMBAHASAN	33
4.1 Uji <i>Optical Density</i> Bakteri <i>Thiobacillus Denitrificans</i>	33
4.2 Uji Parameter Nitrat	34
4.3 Hasil Perhitungan Efisiensi.....	41
4.3.1 Efisiensi Proses Denitrifikasi Secara Autotrof Tanpa Penambahan Katalis	41
4.2.2 Efisiensi Proses Denitrifikasi Secara Heterotrof Tanpa Penambahan Katalis	43
4.2.3 Efisiensi Proses Denitrifikasi Secara Autotrof dengan Penambahan Katalis	44
4.2.4 Efisiensi Proses Denitrifikasi Secara Heterotrof dengan Penambahan Katalis	45
4.3 Pengukuran pH.....	47
4.4 Pengukuran Volume N ₂	51
4.5 Pengukuran Karbonat.....	54
4.6 Pengukuran <i>Dissolved Oxygen</i> (DO)	57
BAB 5.....	61
KESIMPULAN DAN SARAN	61
5.1 Kesimpulan	61
5.2 Saran	61
DAFTAR PUSTAKA	63
LAMPIRAN 1 ANALISIS DO.....	69
LAMPIRAN 2 ANALISIS NITRAT	71
LAMPIRAN 3 ANALISIS KARBONAT	73
LAMPIRAN 4 HASIL UJI PARAMETER NITRAT	75
LAMPIRAN 5 HASIL PENGUKURAN PH	77
LAMPIRAN 6 HASIL PENGUKURAN VOLUME GAS N ₂	79
LAMPIRAN 7 HASIL PERHITUNGAN KARBONAT	81
LAMPIRAN 8 HASIL PENGUKURAN <i>DISSOLVED OXYGEN</i> (DO).....	83
BIOGRAFI PENULIS	85

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1. Ilustrasi Siklus Nitrogen yang Terjadi di Lingkungan Perairan	8
Gambar 2.2 Reaksi kimia yang terjadi saat proses denitrifikasi...	9
Gambar 2.3 Skema respirasi mikroorganismen	10
Gambar 2.4 jalur abiotik nitrat	14
Gambar 3. 1 Kerangka Penelitian	25
Gambar 3.2 Ilustrasi reaktor yang digunakan pada penelitian..	30
Gambar 4.1 Keadaan sampel bakteri sebelum dilakukan Shaker	33
Gambar 4.2 Keadaan sampel bakteri setelah dilakukan shaker	33
Gambar 4.3 Kondisi reaktor kontrol autotrof	35
Gambar 4.4 Kondisi reaktor heterotrof dengan konsentrasi 60 mg/L.....	35
Gambar 4.5 Hasil pengukuran nitrat secara autotrof	36
Gambar 4.6 Hasil pengukuran nitrat secara heterotrof	38
Gambar 4.7 Hasil uji nitrat secara autotrof dengan katalis	39
Gambar 4.8 Hasil uji nitrat secara heterotrof dengan katalis	40
Gambar 4.9 Hasil perhitungan efisiensi Autotrof.....	42
Gambar 4.10 Hasil perhitungan efisiensi heterotrof	43
Gambar 4.11 Hasil perhitungan efisiensi autotrof dengan katalis	45
Gambar 4.12 Hasil perhitungan efisiensi heterotrof dengan Katalis.....	46
Gambar 4.13 pengukuran pH pada reaktor autotrof tanpa Katalis	47
Gambar 4.14 pengukuran pH pada reaktor autotrof dengan katalis	48
Gambar 4.15 pengukuran pH pada reaktor heterotrof tanpa katalis	49
Gambar 4.16 pengukuran pH pada reaktor heterotrof dengan katalis	50
Gambar 4.17 pengukuran volume N ₂ pada reaktor tanpa Katalis.....	52
Gambar 4.18 pengukuran volume N ₂ pada reaktor dengan katalis	53

Gambar 4.19 pengukuran karbonat pada reaktor tanpa katalis	55
Gambar 4.20 pengukuran karbonat pada reaktor dengan katalis	56
Gambar 4.21 pengukuran DO pada reaktor tanpa katalis	59
Gambar 4.22 pengukuran karbonat pada reaktor dengan katalis	50

DAFTAR TABEL

Tabel 2. 1 Penelitian Terdahulu	20
Tabel 3. 2 Metode Analisis Parameter Utama	31
Tabel 4.1 Hasil Analisis Statistik ANOVA Uji Parameter Nitrat tanpa Penambahan Katalis Menggunakan Minitab 16.....	37
Tabel 4.2 Hasil Analisis Statistik ANOVA Uji Parameter Nitrat tanpa Penambahan Katalis Menggunakan Minitab 16.....	41

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

BAB 1

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Dari waktu ke waktu jumlah penduduk semakin meningkat pesat, penambahan jumlah penduduk dunia tersebut akan sangat berpengaruh pada tingkat kebutuhan air dimana semakin banyak penduduk akan semakin banyak pula jumlah air yang diperlukan untuk memenuhi kebutuhan manusia, padahal semakin lama keberadaan air bersih di muka bumi ini semakin langka. Selain itu terdapat ketimpangan dalam proses pendistribusian air minum antara daerah satu dengan daerah yang lain yang mempunyai jumlah penduduk tinggi dengan daerah yang mempunyai jumlah penduduk sedikit sehingga mengakibatkan air yang didapatkan setiap orang tidak sesuai dengan kebutuhan air semestinya.

Selain air minum terdapat juga air buangan, biasanya disebut air limbah. Air ini perlu diolah agar tidak menyebabkan pencemaran terhadap lingkungan. Manusia dalam melakukan aktivitas sehari-hari seperti mandi, mencuci, maupun untuk kegiatan industri banyak menggunakan air bersih. Air bekas buangan manusia ini dapat mencemari perairan di sekitarnya terutama limbah yang disebabkan oleh pabrik industri. Dalam kegiatan yang dilakukan oleh pabrik, biasanya air limbah tidak diolah dengan cara yang benar hanya dibuang ke perairan begitu saja. Akibatnya banyak perairan Indonesia yang tercemar dikarenakan proses pengolahan yang salah.

Bahan organik yang terkandung dalam air buangan berpotensi untuk mencemari lingkungan. Pengolahan secara biologis merupakan salah satu alternatif usaha untuk menanggulangi pencemaran tersebut (Syafila *et al.*, 2003). Air limbah memiliki kandungan pencemar yang beragam salah satunya adalah nitrat. Senyawa nitrat adalah bentuk senyawa nitrogen yang merupakan senyawa yang stabil. Senyawa ini dapat berasal dari buangan industri bahan peledak, pupuk dan cat. Secara alamiah kadar nitrat relatif rendah, tetapi kadar ini dapat menjadi tinggi sekali pada air tanah di daerah-daerah yang diberi pupuk yang mengandung nitrat. Di Indonesia konsentrasi nitrat dalam air minum tidak boleh melebihi 10 mg/l (Alaerts dan

Santika, 1987). Salah satu pengolahan biologis yaitu proses denitrifikasi.

Proses denitrifikasi dilakukan pada kondisi anoksik. Kondisi anoksik dicapai dengan cara membuat reaktor tertutup yang dilengkapi dengan sistem pengaduk berkecepatan rendah untuk mencegah terjadinya transfer molekul udara ke dalam cairan suspensi dan menjaga penyebaran suspensi lebih merata. Parameter penentu kondisi anoksik adalah kadar oksigen terlarut (DO) yang harus dijaga kurang dari 0.2 mg/l (Ibrahim *et al.*, 2009). Mikroorganisme yang dapat membantu proses denitrifikasi pada kondisi anoksik adalah anaerob fakultatif. Mikroorganisme tersebut mampu menggunakan NO_3 sebagai pengganti oksigen (akseptor elektron) dalam respirasi untuk mengatasi kondisi rendah oksigen.

Variabel yang digunakan dalam penelitian ini adalah variasi konsentrasi Nitrat, variasi proses, dan penggunaan katalis. Variasi proses yang digunakan adalah autotrof dan heterotrof, sedangkan katalis yang digunakan adalah selenium. Proses denitrifikasi dengan bantuan mikroba autotrof cukup dengan menggunakan bahan anorganik dan sumber karbon dari CO_2 . Salah satu jenis mikroba ini adalah *Thiobacillus denitrificans* yang dapat mereduksi nitrat menjadi nitrogen gas. Proses menggunakan mikroba heterotrof, yaitu dengan menambahkan bahan organik sebagai donor hidrogen kedalam air limbah (Nugroho, 2003).

Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui efek perbedaan zat organik terhadap efisiensi denitrifikasi. Pada konsentrasi tertentu, toksikan dapat menimbulkan efek toksik pada organisme. Konsentrasi yang semakin meningkat dapat menghambat perkembangan organisme (Yunita *et al.*, 2009). Nitrat (NO_3) adalah sumber nitrogen dan merupakan bahan pembentuk protein, peptida serta asam nukleat. Penelitian ini melibatkan proses biologis dengan bantuan bakteri denitrifikasi dan reaksi kimia. Pada penelitian ini digunakan katalis untuk mempercepat laju reaksi kimia.

1.2 Rumusan Masalah

Rumusan masalah dalam penelitian ini adalah penilaian efisiensi proses denitrifikasi secara autotrof dan heterotrof tanpa penggunaan katalis dan dengan penambahan katalis.

1.3 Tujuan Penelitian

Tujuan dari penelitian ini adalah menentukan menilai efisiensi proses denitrifikasi secara autotrof dan heterotrof tanpa penggunaan katalis dan dengan penambahan katalis.

1.4 Ruang Lingkup

Ruang lingkup dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Penelitian ini dilakukan di Laboratrium Remediasi Lingkungan dan Laboratorium Teknologi Pengolahan Air Teknik Lingkungan - FTSLK ITS
2. Variabel yang dipilih adalah variasi konsentrasi, variasi proses, dan penggunaan katalis
3. Proses yang dijalankan dalam penelitian ini adalah autotrof dan heterotrof
4. Mikroba yang digunakan adalah *Thiobacillus denitrificans*
5. Katalis yang digunakan adalah selenium
6. Reaktor yang digunakan menggunakan wadah kapasitas volume 2 L
7. Parameter yang diuji meliputi *Dissolved Oxygen* (DO), pH, Nitrat ($\text{NO}_3\text{-N}$), karbonat, dan perubahan volume gas dalam gelas ukur 1000 mL

1.5 Manfaat Penelitian

Manfaat dari penelitian ini antara lain:

1. Memberikan informasi secara ilmiah mengenai efek toksisitas zat organik terhadap efektifitas denitrifikasi
2. Menjadi acuan dalam penelitian lebih lanjut tentang efek toksisitas zat organik terhadap efisiensi denitrifikasi

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

BAB 2

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Pengertian Toksisitas

Toksisitas secara umum merupakan tingkat merusaknya suatu zat jika dipaparkan terhadap organisme. Toksisitas dapat mengacu pada dampak terhadap seluruh organisme, seperti hewan, bakteri, atau tumbuhan. Efek lain dapat terjadi pada substruktur organisme, seperti sel atau organ tubuh seperti hati. Toksisitas menunjukkan respon ekologis dengan bergantung pada situasi. Hal ini menunjukkan bahwa toksisitas dapat menimbulkan masalah bagi lingkungan (Chapman *et al*, 2002).

Pengujian toksisitas dilakukan untuk mengkarakterisasi efek yang berpotensi merugikan dari bahan kimia pada kesehatan manusia dan kesehatan hewan atau lingkungan. Tujuannya untuk memastikan penggunaan bahan kimia dan produk yang mengandung bahan kimia pada batas paling aman. pengujian toksisitas biasanya dilakukan pada:

- a) bahan kimia industri (misalnya bahan baku, alat bantu pengolahan, bahan kimia khusus, bahan kimia yang digunakan dalam produk dan artikel konsumen)
- b) bahan kimia dengan fungsi spesifik misalnya deterjen dan pestisida
- c) bahan kimia yang digunakan dalam jenis produk tertentu misalnya kosmetik, obat-obatan untuk penggunaan manusia atau hewan, mainan, peralatan medis, produk yang mengandung tembakau
- d) bahan kimia yang sengaja ditambahkan atau secara tidak sengaja ditemukan dalam makanan dan pakan
- e) bahan kimia yang ditemukan di media lingkungan yang mungkin berisiko terhadap kesehatan manusia dan satwa liar (misalnya air permukaan, air tanah dan laut, air minum)

Dalam konteks penilaian kesehatan dan keselamatan manusia, jenis-jenis utama uji toksisitas berbasis hewan dilakukan untuk: toksisitas akut (iritasi kulit dan mata/korosi, toksisitas sistemik akut), alergenitas (kepekaan kulit dan pernapasan), *ulangjedosis* toksisitas, *genotoxicity* dan

mutagenisitas, *carcinogenicity*, toksisitas reproduksi dan perkembangan, serta biokinetik (juga disebut sebagai *toxicokinetics* atau farmakokinetik) (Worth, 2019).

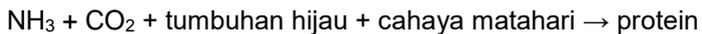
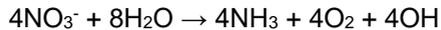
Metode uji ekotoksitas mikrobial untuk penentuan beban volumetrik suatu parameter mutu dalam pengolahan mikrobial air dan limbah membuktikan adanya korelasi kuat antara konsentrasi efek 50 (EC – 50) suatu parameter mutu dengan beban volumetrik suatu parameter mutu. Konsentrasi efek 50 (EC – 50) didefinisikan sebagai besaran polutan (mg/l atau sejenisnya) yang memberi efek negatif pada 50% biota uji (jumlah, aktivitas respirasi atau sejenisnya) dalam suatu lingkungan tertentu. Efek toksik polutan dapat diidentifikasi melalui ekspresi mikrobial yang disesuaikan dengan mikrobial uji. Pada umumnya ekspresi mikrobial dapat dipilih antara kematian, gangguan pertumbuhan sel, gangguan aktivitas sel, gangguan respirasi dan juga gangguan fermentasi (Mangkoedihardjo, 2003).

2.2 Siklus Nitrogen

Senyawa nitrogen merupakan senyawa yang sangat penting dalam kehidupan. Nitrogen merupakan salah satu nutrisi utama yang berperan dalam pertumbuhan organisme yang hidup. Senyawa ini juga merupakan komponen dasar protein yang keberadaannya di perairan digunakan oleh produsen untuk memproduksi sel oleh hewan dan tumbuhan. Jumlah nitrogen yang terdapat di atmosfer, paling banyak berada dalam bentuk gas nitrogen sebesar 78% dan sangat terbatas nutriennya dalam lingkungan air dan daerah pertanian. Pada umumnya gas nitrogen ini tidak dapat dipergunakan secara langsung oleh makhluk hidup, hanya beberapa organisme khusus yang dapat mengubahnya ke dalam bentuk organik nitrogen dan proses yang terjadi dinamakan fiksasi.

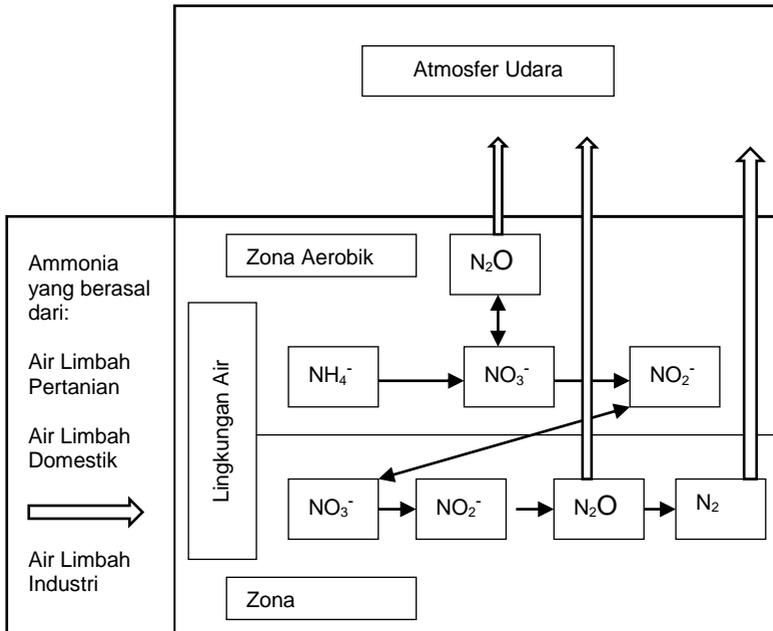
Dalam lingkungan perairan, nitrogen terlarut dapat diikat oleh sejumlah bakteri dan alga. Nitrogen organik yang disintesa oleh tumbuhan dan alga merupakan sumber nitrogen bagi hewan. Dalam metabolismenya hewan akan membuang nitrogen yang berada dalam bentuk senyawa-senyawa yang kemudian senyawa tersebut dimineralisasi oleh mikroorganisme dan nitrogen akan dilepaskan sebagai amoniak. Proses yang sama juga akan terjadi

jika tumbuh-tumbuhan dan hewan mati dan akan mengalami dekomposisi. Proses pelepasan amoniak ini disebut juga dengan amonifikasi. Amoniak sangat berguna bagi tumbuhan dan mikroorganisme untuk asimilasi menjadi sel baru yang memberikan lebih banyak nitrogen organik. Untuk mengetahui sejauh mana peran senyawa nitrogen dalam proses pertumbuhan, maka perlu diketahui bentuk serta perubahannya yang terjadi di alam dalam suatu siklus yang disebut siklus nitrogen. Siklus nitrogen yang terjadi di Lingkungan perairan secara sederhana dapat diilustrasikan seperti pada Gambar 2.1. Senyawa nitrat dan amoniak dalam air digunakan oleh tumbuhan dan mikroorganisme dalam proses biosintesis (asimilasi) untuk membentuk sel baru yang akan menghasilkan nitrogen organik.



Setelah hewan dan tumbuhan mati, maka akan didekomposisi oleh proses biokimia dan bahan-bahan nitrogen organik akan diubah kembali dalam bentuk amoniak. Proses ini dinamakan sebagai proses mineralisasi. Sebagian besar amoniak di alam akan dioksidasi menjadi bentuk nitrit (NO_2^-) dan kemudian menjadi nitrat (NO_3^-) yang dilakukan oleh bakteri autotrof dalam proses yang disebut nitrifikasi. Senyawa nitrit merupakan bahan peralihan yang terjadi pada siklus biologi. Senyawa ini dihasilkan dari suatu proses oksidasi biokimia ammonium, tetapi sifatnya tidak stabil karena pada kondisi aerobik, selama nitrit terbentuk dengan cepat nitrit dioksidasi menjadi nitrat oleh bakteri nitrobacter. Sedangkan pada kondisi anaerobik, nitrat dapat direduksi menjadi nitrit yang selanjutnya hasil reduksi tersebut dilepaskan sebagai gas nitrogen.

Senyawa nitrat adalah bentuk senyawa nitrogen yang merupakan senyawa yang stabil. Senyawa ini dapat berasal dari buangan industri bahan peledak, pupuk dan cat. Secara alamiah kadar nitrat relatif rendah, tetapi kadar ini dapat menjadi tinggi sekali pada air tanah di daerah-daerah yang diberi pupuk yang mengandung nitrat. Di Indonesia konsentrasi nitrat dalam air minum tidak boleh melebihi 10 mg/l (Alaerts & Santika, 1987).



Gambar 2.1. Ilustrasi Siklus Nitrogen yang Terjadi di Lingkungan Perairan

Sumber : Gabriel, 1994

2.3 Senyawa Nitrat

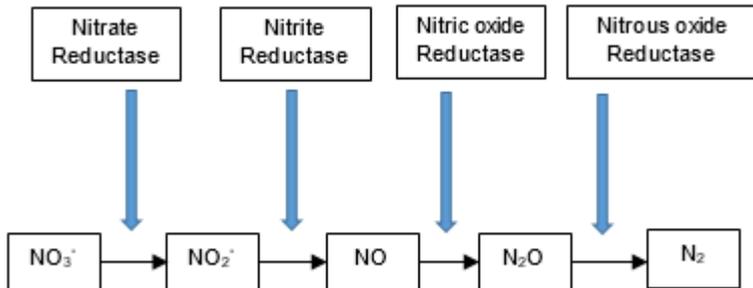
Nitrat ditemukan di alam dalam bentuk garam sebagai hasil siklus nitrogen. Nitrat terbentuk dari proses nitrifikasi, yaitu oksidasi amoniak dengan bantuan bakteri dalam tanah. Persenyawaan nitrat penting dalam sintesa protein yang dibutuhkan oleh tumbuhan dan hewan. Nitrat banyak digunakan dalam produksi pembuatan pupuk, industri logam, farmasi dan industri makanan sebagai pengawet.

Nitrat ($\text{NO}_3\text{-N}$) adalah bentuk nitrogen yang dinamis dan menjadi bentuk yang paling dominan pada limpasan (*run-off*), masukan sungai, keluarnya air tanah dan deposisi atmosfer ke laut. Nitrat adalah nutrien utama bagi pertumbuhan alga, nitrat

sangat mudah larut dalam air dan bersifat stabil (Kirchman, 2000). Nitrat dihasilkan dari proses oksidasi sempurna senyawa nitrogen dan amonia di perairan (Effendi, 2000). Sumber utama nitrat berasal dari erosi tanah, limpasan dari daratan termasuk pupuk dan limbah (Chester, 1990). Produk akhir proses denitrifikasi adalah gas nitrogen yang tidak dapat dimanfaatkan oleh tumbuhan secara langsung. Menurut Hutagalung dan Rozak, (1997) distribusi horizontal kadar nitrat akan semakin tinggi ke arah pantai, dan kadar yang tinggi ditemukan di perairan muara.

2.4 Proses Denitrifikasi

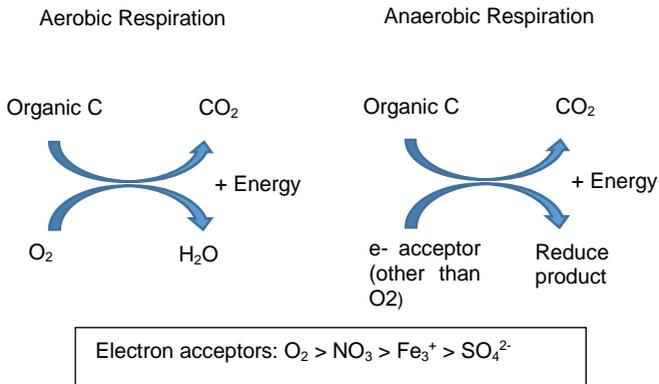
Denitrifikasi adalah proses reduksi nitrat menjadi gas nitrogen dengan produk antara menjadi nitrit (Nugroho, 2006). Reaksi dilakukan oleh *denitrifiers* yang didistribusikan secara luas oleh taksa bakteri, termasuk *Pseudomonas*, *Bacillus*, *Thiobacillus*, *Propionibacterium* dan lain-lain. Reaksi kimia yang terjadi dalam proses denitrifikasi dapat dilihat pada Gambar 2.2 berikut (Wrage *et al.*, 2001).



Gambar 2.2 Reaksi kimia yang terjadi saat proses denitrifikasi
Sumber : Wrage *et al.*, 2001

Bakteri denitrifikasi mencakup beragam *genus*. Metabolisme denitrifikasi mencakup heterotrofik dan autotrofik. Amonia aerobik dan pengoksidasi nitrit termasuk dalam kelompok autotrof yang sangat terbatas. *Nitrosomonas* dan *Nitrospira* adalah pengoksidasi amonia aerobik yang paling terkenal. *Nitrobacter* dan *Nitrospira* adalah pengoksidasi nitrit yang terkenal (Sliekers *et al.*, 2002).

Respirasi heterotrofik bahan organik dapat bersifat aerob (melibatkan oksigen) atau anaerob (tidak membutuhkan oksigen). Kedua bentuk respirasi tersebut adalah reaksi oksidasi-reduksi. Kombinasi senyawa karbon organik sebagai akseptor elektron untuk menghasilkan karbon teroksidasi (CO_2) produk (H_2O dalam kasus respirasi aerobik), dan energi. Respirasi anaerob di mana nitrat berfungsi sebagai akseptor alternatif. Berbagai zat dapat berperan sebagai elektron akseptor dalam respirasi anaerob dan tergantung pada penerima serta produk utamanya. Beberapa akseptor umum terdaftar dalam urutan dari efisiensi hasil energi tertinggi hingga terendah. Mikroba melakukan reaksi yang lebih efisien cenderung kalah untuk bahan organik labil (Burgin dan Hamilton, 2007).



Gambar 2.3 Skema respirasi mikroorganisme

Sumber : Burgin dan Hamilton, 2007

Menurut Herlambang dan Marsidi (2003), denitrifikasi adalah proses tahap kedua dalam proses penghilangan amoniak dengan sistem nitrifikasi-denitrifikasi. Proses denitrifikasi adalah perubahan senyawa nitrat menjadi gas nitrogen (N_2). Gas nitrogen adalah senyawa yang sangat stabil. Bakteri yang bekerja pada proses denitrifikasi adalah bakteri anaerobik, yaitu bakteri yang tidak memerlukan oksigen dalam aktifitasnya, bahkan kehadiran oksigen dapat menyebabkan bakteri ini mati. Untuk itu

proses denitrifikasi memerlukan bioreaktor tertutup yang tidak bersentuhan dengan udara luar. Reaksi reduksi senyawa nitrat menjadi nitrogen memerlukan senyawa karbon organik sebagai sumber elektron (elektron donor). Oleh karena itu pada proses reduksi ini diperlukan penambahan senyawa karbon organik dari luar.

2.4.1 Proses Denitrifikasi secara Biologis

Dua mekanisme penting pada proses biologi pengurangan nitrat yaitu *asimilatory* pengurangan nitrat dan *disimilatory* pengurangan nitrat.

a. *Asimilatory* Pengurangan Nitrat

Melalui mekanisme ini nitrat dirubah menjadi nitrit dan kemudian menjadi amonium oleh mikroorganisme. Pada proses ini melibatkan enzim yang mengubah NO_3^- menjadi NH_3 , yang kemudian bersatu kedalam protein dan asam *nucleic*. Pengurangan nitrat didorong oleh *asimilatory* pengurangan nitrat, yang aktifitasnya tidak dipengaruhi oleh oksigen. Mikroorganisme tertentu (seperti *pseudomonas aeruginosa*) memiliki keduanya yaitu *asimilatory* pengurangan nitrat dan *disimilatory* pengurangan nitrat, yang sensitif terhadap oksigen. Kedua *enzym* diberi nama dengan *gene* yang berbeda.

b. *Disimilatory* Pengurangan Nitrat

Proses ini adalah proses pernafasan anaerobic yang dalam hal ini NO_3^- berlaku sebagai penerima elektron. NO_3^- direduksi menjadi *nitrious oxide* (N_2O), dan gas nitrogen (N_2). Pembebasan N_2 adalah hal yang dominan pada denitrifikasi. Namun N_2 mempunyai kelarutan yang rendah dalam air sehingga cenderung keluar naik sebagai gelembung. Mikroorganisme yang terlibat dalam denitrifikasi adalah aerobic autotrophic atau heterotrophic mikroorganisme, yang dapat berubah menjadi anaerobik pada saat nitrat dipergunakan sebagai penerima elektron.

2.4.2 Kondisi Proses Denitrifikasi

Faktor-faktor utama yang mempengaruhi denitrifikasi pada pengolahan air buangan dan adalah sebagai berikut:

a. Konsentrasi Nitrat

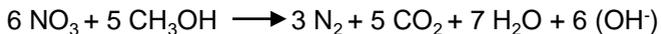
Disebabkan nitrat berlaku sebagai elektron penerima untuk bakteri *denitrifying*, maka laju pertumbuhan *denitrifiers* tergantung pada konsentrasi nitrat dan mengikuti kinetik tipe Monod.

b. Kondisi Anoksik

O₂ bersaing secara efektif dengan nitrat sebagai penerima elektron dalam proses pernafasan. Oksidasi glukosa mengeluarkan lebih banyak energi bebas dengan adanya oksigen (686 kcal/mole glukosa) dari pada adanya nitrat (570 kcal/mole glukosa). Inilah alasan mengapa proses denitrifikasi harus dilaksanakan tanpa adanya oksigen.

c. Keberadaan Zat Organik

Bakteri *denitrifying* harus mempunyai elektron donor untuk melaksanakan proses denitrifikasi. Beberapa sumber elektron telah dipelajari. Sumber- sumber tersebut termasuk senyawa murni (contoh, asam asetat, asam sitrat, methanol), air buangan domestik, buangan dari industri makanan (bir, molases) dan lumpur. Sumber elektron yang disenangi adalah methanol walaupun agak mahal, dalam hal ini berperan sebagai sumber karbon untuk mendorong denitrifikasi. Biogas, mengandung metan hampir 60 %, dapat juga berlaku sebagai sumber karbon pada denitrifikasi. Telah lama diketahui bahwa metan dapat digunakan sebagai sumber karbon pada proses denitrifikasi, karena bakteri *methanotrophic* mengoksidasi metan menjadi methanol.



5/6 mol methanol diperlukan untuk *denitrifying* satu mol NO₃. Namun sebagian *methanol* digunakan untuk pernafasan sel

dan sintesa sel. Penghilangan nitrat maksimum dicapai apabila perbandingan $\text{CH}_3\text{OH}/\text{NO}_3$ mendekati 2,5.

d. Keasaman Air Limbah

Dalam air buangan, denitrifikasi paling efektif pada pH antara 7,0-8,5 dan optimal sekitar 7,0. *Alkalinity* dan pH naik selama terjadi denitrifikasi. Secara teoritis, denitrifikasi menghasilkan 3,6 mg *alkalinity* sebagai CaCO_3 , per 1 mg nitrat yang berkurang menjadi N_2 . Namun dalam praktek, nilai ini lebih kecil dan nilai 3,0 diusulkan untuk tujuan desain. Denitrifikasi menggantikan lebih kurang setengah dari *alkalinity* yang dikonsumsi selama denitrifikasi.

e. Temperatur

Denitrifikasi terjadi antara 35°C dan 50°C . Terjadi pula pada temperatur rendah ($5 - 10^\circ\text{C}$) namun dengan laju yang lebih rendah.

f. Efek Logam

Denitrifikasi sangat terpengaruh dengan adanya *molybdenum* dan selenium. Hal tersebut aktif dalam pembentukan *formate dehydrogenase*, salah satu enzim yang berpengaruh dalam metabolisme *methanol*. *Molybdenum* sangat penting pada sintesa pengurangan nitrat.

g. Kimia Beracun

Organisme *denitrifying* lebih kurang sensitif terhadap kimia beracun dibandingkan organisme *nitrifiers*.

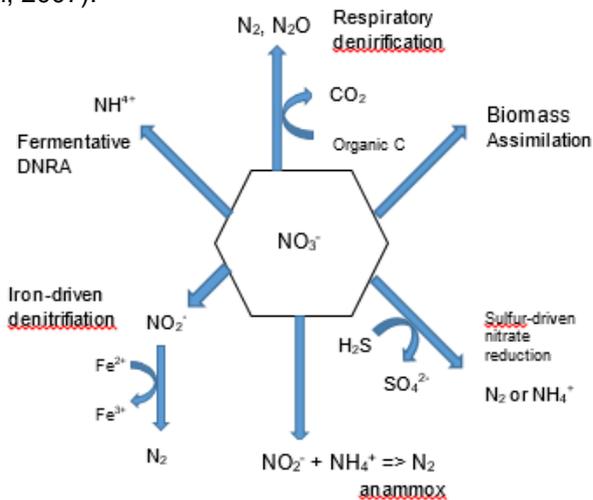
2.5 Macam-macam Katalis

2.5.1 Katalis Fe

Fe (II) - EDTA, sejenis besi *chelated*, mampu berkoordinasi dengan *nitric oxide* (NO) yang mempercepat laju dan kinetika penyerapan gas buang. Namun, Fe (II) - EDTA dapat dengan mudah teroksidasi menjadi Fe (III) - EDTA yang tidak dapat menyerap NO. Oleh karena itu, regenerasi Fe (II) - EDTA atau yang dikenal dengan pengurangan Fe (III) - EDTA

menjadi Fe (II) –EDTA merupakan langkah penting dalam proses denitrifikasi. Untuk meningkatkan laju reduksi Fe (III) - EDTA, selenium (SO_3^{2-} / Fe (III) – EDTA) digunakan sebagai katalis untuk pertama kalinya. Sebagai perbandingan, tingkat pengurangan meningkat empat kali setelah penambahan selenium pada suhu kamar (25°C). Elemen Se bisa mengendap ketika SO_3^{2-} dioksidasi hingga mencapai pemisahan diri. Mekanisme katalisis diamati dengan bantuan spektroskopi UV-Vis, efek Tyndall, Spektroskopi Fourier transform Infrared (HATR-FTIR), dan Difraksi sinar-X (Xiang *et al.*, 2016).

Pengurangan nitrat yang digabungkan dengan siklus besi (Fe) diperkirakan terjadi melalui jalur biotik dan abiotik. Pada Gambar 2.3 digambarkan satu contoh jalur abiotik nitrat yang dikonversi menjadi nitrit (NO_2^-) oleh besi (Fe^{2+}). Hal ini juga bisa dilakukan dengan mengurangi mangan (Mn^{2+}) dilanjutkan dengan reaksi cepat NO_2^- ke N_2 . Reaksi ini hanya menghilangkan sebagian besar nitrat dari air tanah di daerah dengan input nitrat rendah. Reaksi abiotik lain yaitu nitrat direduksi menjadi nitrit melalui reaksi dengan Fe atau Mn. Ikatan nitrit dengan zat organik menghasilkan nitrogen organik terlarut (Burgin dan Hamilton, 2007).



Gambar 2.4 jalur abiotik nitrat

2.5.2 Katalis Selenium (Se)

Selenium adalah unsur kimia yang ditemukan dalam bentuk unsur pada tahun 1818 oleh ahli kimia Swedia, Jons Jacob Berzelius. Selenium termasuk dalam kelompok *chalcogens* (tabel periodik grup 16). Selenium mempunyai sifat kimia yang mirip dengan belerang. Akibatnya, selenium ditemukan menyerupai dengan sulfida alami seperti pirit, kalkopirit dan *sflerit* terutama dalam konsentrasinya. Selenium hadir dalam batu bara dengan belerang tinggi yang ditemukan di AS, Rusia dan Cina. Kandungan selenium tersebut hingga 43 mg Se kg⁻¹ meskipun rata-rata di dunia hanya 1,6 dan 1,0 mg Se kg⁻¹. Selanjutnya, batu bara dan tuf vulkanik dapat mengandung konsentrasi selenium tinggi sekitar 22 dan 32 mg kg⁻¹ di wilayah Daba, Cina. Spesiasi selenium kompleks dengan selenium yang ada di status oksidasi -II, -I, 0, +IV dan +VI berbentuk anorganik dan organik. Memiliki fasa padat, cair dan gas serta dalam 6 isotop stabil. Spesi yang paling teroksidasi, *selenate* dan *selenite*, sering ditemui di perairan permukaan. Spesies selenium yang paling sedikit yaitu logam anorganik *selenides*. Konversi lebih lanjut ke *selenide* dimediasi oleh mikroorganisme lain, misalnya *Bacillus* yang bernafas dengan *selenite selenitireducens*. Selenide logam kompleks dapat mengalami oksidasi oleh mikroorganisme, seperti pada aplikasi peleburan *selenide* tembaga (CuSe). (Lenz dan Lens, 2009).

Menurut Pan dan Liu (2017) secara historis, selenium pertama mengandung protein, *glutathione peroxidase* (GPx), ditemukan pada tahun 1957. Dalam organisme, selenium ada dalam bentuk *selenocysteine* (Sec). Protein yang mengandung Sec dikenal sebagai *selenoprotein*. GPx adalah *selenoenzyme* terkenal, berfungsi sebagai antioksidan dan mengkatalis pengurangan peroksida berbahaya. Berfungsi melindungi organisme dari kerusakan sel. *Selenoprotein* ada di semua bentuk utama organisme seperti *eukariota* dan bakteri yang memberikan dukungan kritis katalisis seumur hidup. Dalam eukariota, Sec dikodekan oleh UGA menghentikan kodon pada *selenoprotein* yang terjadi secara alami. UGA dikenali oleh *selenocysteyl*-tRNA tertentu. Namun penekanan yang efisien terhadap penghentian kodon memerlukan faktor terjemahan khusus dan elemen pengenalan khusus dalam mRNA. Sintesis *sec*

dimulai dari *serine* (Ser) yang dibebankan pada *tRNA^{Sec}* oleh sintetase seril-tRNA konvensional untuk menghasilkan *Ser-tRNA^{Sec}*. Sebelum konversi ke *Sec* pada *tRNA^{Ser}*, bagian serial difosforilasi menjadi fosfoserin (Sep) oleh *O-phosphoserine-tRNA^{Ser}* kinase (PSTK) yang telah diidentifikasi oleh genomik komparatif. *Sep-tRNA^{Sec}* selanjutnya dikonversi ke *Sec-tRNA^{Sec}* oleh *selenocysteine synthase SecS* (SepSecS) yang memanfaatkan *mono-selenophosphate* sebagai donor selenium untuk mengkatalisasi konversi.

Selenium adalah mikronutrien penting, tetapi pada konsentrasi tinggi dapat menghasilkan sitotoksitas dan kerusakan genomik yang parah. Romero *et al* (2019) telah mengevaluasi perubahan sitotoksitas, ultrastruktural, dan mitokondria dari dua spesies selenium anorganik utama; selenite dan selenate, dalam mikroorganisme eukariotik *Tetrahymena thermophila*. Dalam *ciliate* ini, *selenite* lebih toksik daripada *selenate*. Nilai LC_{50} dihitung sebagai 27,65 μM untuk Se (IV) dan 56,88mM untuk Se(VI). Tingkat peroksida/hidroperoksida yang signifikan diinduksi di bawah konsentrasi selenit rendah atau sedang. Eksposur Se (VI) lebih cepat menginduksi depolarisasi mitokondrial membran. Sel-sel yang diberi perlakuan selenium menunjukkan vakuolisasi *intens* dan beberapa di antaranya menghadirkan banyak partikel *electrondense* diskrit dan kecil.

2.6 Faktor Penghambat Denitrifikasi

Ketersediaan nitrat dalam tanah merupakan salah satu faktor yang menentukan laju denitrifikasi. NO_3^- sangat tidak stabil pada kondisi tanah tergenang. Beberapa hari setelah penggenangan nitrat akan hilang sebagai N_2O dan N_2 melalui denitrifikasi. Proses denitrifikasi menghasilkan gas N_2O dalam suasana anaerob. Dilaporkan pula bahwa proses tersebut dapat berlangsung dengan adanya O_2 . Beberapa bakteri denitrifikasi menggunakan O_2 dan NO_2^- secara simultan sebagai akseptor elektron (Wihardjaka, 2010).

Penurunan jumlah bakteri penambat N kemungkinan karena konsentrasi amonium dalam tanah meningkat. Konsentrasi amonium yang tinggi biasanya menjadi faktor penghambat pertumbuhan bakteri penambat N. Pemupukan dan pengairan adalah dua faktor yang paling penting dari beberapa

faktor yang langsung berpengaruh terhadap proses nitrifikasi dan denitrifikasi dalam tanah (Supriyati dan Agustiyani, 2010). Sebagian besar bakteri denitrifikasi memiliki kemampuan reduksi N_2O sehingga mampu mengurai N_2O menjadi N_2 . Namun, kemampuan reduksi sensitive terhadap pH rendah sehingga menghasilkan rasio N_2O-N_2 lebih tinggi pada pH di bawah 7 (Herold *et al.*, 2012).

2.7 Proses Denitrifikasi secara Autotrof

Autotrophic denitrification (AuDen) adalah proses biologis yang efisien, tepat guna dan ramah lingkungan untuk pengolahan air dengan kandungan organik rendah yang terkontaminasi nitrat. AuDen bisa diterapkan sebagai proses utama atau pelengkap denitrifikasi konvensional yang mengandung zat organik, mengurangi risiko lolosnya karbon organik dalam limbah dan pembentukan yang tidak diinginkan dari produk sampingan hilir (misalnya *trihalomethanes*). Berbagai senyawa anorganik dapat bekerja sebagai donor elektron untuk AuDen. Donor elektron yang paling banyak digunakan yaitu gas hidrogen dan senyawa sulfur tereduksi antara lain elemen sulfur, sulfida, dan tiosulfat (Di Capua *et al.*, 2019).

Denitrifikasi Autotrof, yang menggunakan nitrat atau nitrit sebagai akseptor elektron, adalah proses utama untuk menghilangkan sulfida dalam cairan (Chung, *et al.*, 2014). Denitrifikasi Autotrof dapat berjalan dengan karbon yang relatif rendah dan produksi lumpur yang rendah. Autotrofik denitrifikasi telah menerima perhatian yang signifikan dan dianggap sebagai proses biologis optimal untuk pengolahan air limbah yang mengandung belerang. Proses ini dilakukan oleh bakteri pengoksidasi sulfur autotrofik (SOB) seperti *Thiobacillus* (Beller *et al.*, 2006).

2.8 Proses Denitrifikasi secara Heterotrof

Bakteri denitrifikasi mampu memanfaatkan nitrat sebagai penerima electron terakhir untuk memperoleh energi pada kondisi oksigen terbatas atau anaerob. Secara taksonomi dan ekologi, bakteri denitrifikasi tersebar dalam kelompok bakteri anaerob fakultatif dan anaerob obligat. Bakteri yang berperan dalam proses denitrifikasi termasuk dalam bakteri yang heterotrofik.

Bakteri yang hidup dalam lingkungan estuari antara lain *Alteromonas*, *Pseudomonas*, *Eryhrobacter*, *Alcaligenes*, dan *Aquaspirillum* (Zumft, 1992).

Berdasarkan sumber karbonnya, bakteri denitrifikasi bersifat heterotrof yang memerlukan karbon organik seperti asam asetat, gliserol, dan glukosa untuk pertumbuhannya (Texeira dan Oliveira, 2002). Karbon dibutuhkan sebagai donor elektron dalam kondisi yang rendah oksigen atau anaerob. Perbandingan antara sumber karbon sebagai donor elektron dan nitrat sebagai aseptor elektron sangat penting. Keberadaan sumber karbon sangat mempengaruhi bakteri-bakteri dalam melakukan proses nitrifikasi dan denitrifikasi. Ketika kondisi perairan atau sedimen tambak kaya nitrat, namun miskin sumber karbon, maka dominasi aktivitas kelompok bakteri denitrifikasi akan terlihat (Hastuti, 2011).

2.9 Pengukuran Optical Density

Metode yang mudah digunakan dan paling banyak diterapkan untuk menentukan keadaan pertumbuhan kultur sel bakteri adalah dengan menentukan kepadatan optik (OD) secara spektrofotometri. Pengenceran sampel yang diperlukan untuk mengukur dalam rentang linear spektrofotometer, tidak memakan waktu dan kompatibel dengan hasil tinggi (Meyers *et al.*, 2018). Sebenarnya, instrumen yang paling pas untuk tujuan tersebut adalah yang memberikan bacaan dalam hal kepadatan optik ($\log 10/1$). Dengan kultur yang terdispersi dengan baik, umumnya ditemukan bahwa kerapatan optik tetap proporsional dengan kerapatan bakteri di seluruh fase positif pertumbuhan biakan. Ketika persyaratan ini dipenuhi, penentuan kepadatan optik menyediakan metode yang memadai dan sangat nyaman untuk memperkirakan kepadatan bakteri (Monod, 1942).

2.10 Bakteri *Thiobacillus Denitrificans*

Thiobacillus denitrificans, pertama kali diisolasi oleh Beijerinck beberapa abad yang lalu adalah salah satu bakteri nonfilamen pertama yang mampu tumbuh pada senyawa sulfur anorganik sebagai sumber energi tunggal (Beller *et al.*, 2006). *Thiobacillus denitrificans* diisolasi setelah dilakukan pengayaan pada kondisi anaerob. Isolasi dilakukan dengan teknik budidaya

berkelanjutan menggunakan tiosulfat sebagai sumber energi serta nitrat sebagai akseptor elektron dan sumber nitrogen. Isolat adalah *denitrifier* aktif pada kondisi optimal 30°C dan pH 7,5 – 8,0. Denitrifikasi dapat terhambat oleh sulfat (produk reaksi) di atas 5 g SO₄/L, sedangkan nitrat dan tiosulfat dengan konsentrasi tinggi kurang berbahaya (Claus dan Kutzner, 1985).

Thiobacillus Denitrificans kurang sensitif terhadap oksigen. Mikroba tersebut berkembang secara normal saat terpapar udara pada tekanan atmosfer. Pertumbuhan dalam kondisi ini tidak memerlukan keberadaan nitrat dalam media. Kultur secara anaerob adalah perkembangan yang tergantung pada suplai nitrat. Pengetahuan yang ada tentang bakteri denitrifikasi menunjukkan bahwa mereka tumbuh, tanpa kecuali, pada saat proses oksidatif berlangsung. Kondisi tersebut menunjukkan baik O₂ atau nitrat dapat digunakan sebagai hidrogen (atau elektron) akseptor utama. *Thiobacillus denitrificans* berkembang terbaik pada media yang kurang lebih netral. Jika pH kultur turun di bawah 6, bakteri dengan cepat tidak aktif. Oleh karena itu, penting untuk mencegah peningkatan keasaman yang cukup besar. Ini dapat dengan mudah dicapai dengan menggunakan buffer fosfat yang tepat (Baalsrud & Baalsrud, 1954).

2.11 Mikroorganisme Autotrof dan Heterotrof

Organisme autotrof merupakan organisme yang dapat mengubah bahan anorganik menjadi organik (dapat membuat makanan sendiri) dengan bantuan energi seperti energi cahaya matahari dan kimia. Organisme autotrof dibedakan menjadi dua tipe.

- a) Fotoautotrof adalah organisme yang dapat menggunakan sumber energi cahaya untuk mengubah bahan anorganik menjadi bahan organik. Contohnya tumbuhan hijau, bakteri ungu, dan bakteri hijau. Proses fotosintesis pada bakteri dilakukan secara anaerobik dan tidak dihasilkan oksigen.
- b) Kemoautotrof adalah organisme yang dapat memanfaatkan energi dari reaksi kimia untuk membuat makanan sendiri dari bahan organik. Contohnya bakteri besi, bakteri belerang, bakteri nitrogen. Bakteri kemoautotrof menggunakan energi kimia dari oksidasi molekul organik untuk menyusun

makanannya. Molekul organik yang dapat digunakan oleh bakteri kemoautotrof adalah senyawa nitrogen, belerang, dan besi, atau dari oksidasi gas hidrogen. Dalam prosesnya bakteri ini membutuhkan oksigen.

Karbon dioksida adalah pondasi dasar yang digunakan oleh kebanyakan autotrof untuk membangun multi-karbon, senyawa energi tinggi, seperti glukosa. Energi dimanfaatkan dari matahari digunakan oleh organisme ini untuk membentuk ikatan kovalen yang menghubungkan atom karbon bersama-sama. Ikatan kimia ini menyimpan energi ini untuk digunakan dalam proses respirasi. Kebanyakan autotrof terestrial memperoleh karbon dioksida secara langsung dari atmosfer, sementara autotrof air memperolehnya dalam bentuk terlarut (asam karbonat, H_2CO_3^-). Namun saat karbon dioksida diperoleh, produk sampingan dari proses ini adalah oksigen.

Heterotrof (dari bahasa Yunani: *heterone* = lainnya; *trophe* = nutrisi) adalah organisme yang membutuhkan senyawa organik di mana karbon diekstrak untuk pertumbuhannya. Heterotrof dikenal sebagai "konsumer" atau tidak dapat membuat makanan sendiri dalam rantai makanan dan hanya bergantung pada yang lain. Sebagian besar makhluk heterotrof adalah parasit. Yang termasuk ke dalam heterotrof adalah semua hewan, jamur dan bakteri. Heterotrof merupakan kebalikan dari autotrof.

2.12 Daftar Penelitian Terdahulu

Penelitian terdahulu berguna untuk menjadi referensi dalam melakukan penelitian ini. Daftar penelitian terdahulu dapat dilihat pada Tabel 2.1.

Tabel 2. 1 Penelitian Terdahulu

No	Judul Penelitian	Tujuan Penelitian	Pelaksanaan Penelitian
1.	Denitrifikasi Limbah Nitrat pada Berbagai Tingkat pH dengan Memanfaatkan Mikroba <i>Autotroph</i>	Mengetahui pengaruh pH terhadap kecepatan reaksi denitrifikasi menggunakan mikroba <i>autotroph</i>	Nugroho, 2003

No	Judul Penelitian	Tujuan Penelitian	Pelaksanaan Penelitian
2.	Pengaruh Rasio COD/NO ₃ pada Parameter Biokinetika Proses Denitrifikasi Limbah Cair Industri Perikanan dengan Lumpur Aktif	Menentukan parameter kinetika proses denitrifikasi menggunakan lumpur aktif	Ibrahim <i>et al.</i> , 2009
3.	<i>Completely Autotrophic Nitrogen Removal Over Nitrite in One Single Reactor</i>	Menentukan proses-proses yang terjadi dalam single reaktor	Sliekers <i>et al.</i> , 2002
4.	<i>Biodegradability Improvement of Industrial Wastewater Using Hyacinth</i>	Mengkaji kinerja air limbah biodegradable rendah dengan cara phytotreatment sebelum proses oksidasi biologis	Mangkoedihardjo, 2006
5.	Uji Ekotoksistasitas Mikrobial untuk Penentuan Beban Volumetrik suatu Parameter Mutu dalam Pengolahan Mikrobial Air dan Limbah	Mengkaji korelasi beban volumetric dan konsentrasi zat pada tingkat gangguan aktivitas mikrobial	Mangkoedihardjo, 2003

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

BAB 3

METODE PENELITIAN

3.1 Kerangka Penelitian

Kerangka penelitian merupakan gambaran awal bagaimana sebuah penelitian dilaksanakan. Tujuan adanya kerangka penelitian diantaranya untuk memudahkan penulis dalam memahami langkah-langkah yang harus dilakukan. Adanya kerangka penelitian membantu penulis untuk dapat melakukan penelitian secara terstruktur dan sistematis. Terstruktur berarti penelitian yang dilakukan telah disusun sesuai dengan urutan kegiatan. Sistematis berarti penelitian disusun dengan mengikuti sistematika sebagaimana sebuah penelitian dilakukan. Selain berguna untuk penulis, kerangka penelitian ini membantu pembaca dalam memahami langkah-langkah penelitian yang dilakukan oleh penulis.

Penelitian ini menganalisis efek perbedaan zat organik terhadap efisiensi proses denitrifikasi secara autotrof dan heterotrof. Bahan uji yang digunakan berupa larutan yang mendukung pertumbuhan mikroorganisme. Larutan tersebut dibagi menjadi dua jenis yaitu larutan untuk proses autotrof dan heterotrof. Larutan untuk proses autotrof menggunakan larutan dengan campuran N:P sebesar 5:1 sedangkan untuk heterotrof C:N:P sebesar 250:5:1. Toksikannya yang digunakan adalah nitrat dengan beberapa konsentrasi. Parameter yang diuji meliputi *Dissolved Oxygen* (DO), pH, Nitrat ($\text{NO}_3\text{-N}$), karbonat, dan perubahan volume gas dalam gelas ukur 1000 mL. Kegiatan penelitian ini dilakukan dalam skala laboratorium yang bertempat di Laboratorium Remediasi Lingkungan dan Laboratorium Teknologi Pengolahan Air Teknik Lingkungan-FTSLK ITS. Kerangka penelitian dapat dilihat pada Gambar 3.1.

3.2 Ide Penelitian

Nitrat adalah komponen nitrogen utama yang berasal dari nitrifikasi. Toksisitas nitrat terhadap lingkungan air tidak biasanya dianggap mematikan dibandingkan dengan amonia dan nitrit (van Bussel *et al.*, 2012). Umumnya konsentrasi nitrat jauh lebih tinggi daripada amonia dan nitrit karena proses ammonia oksidasi menjadi nitrat sebagai produk akhir dari nitrifikasi (Camargo *et al.*,

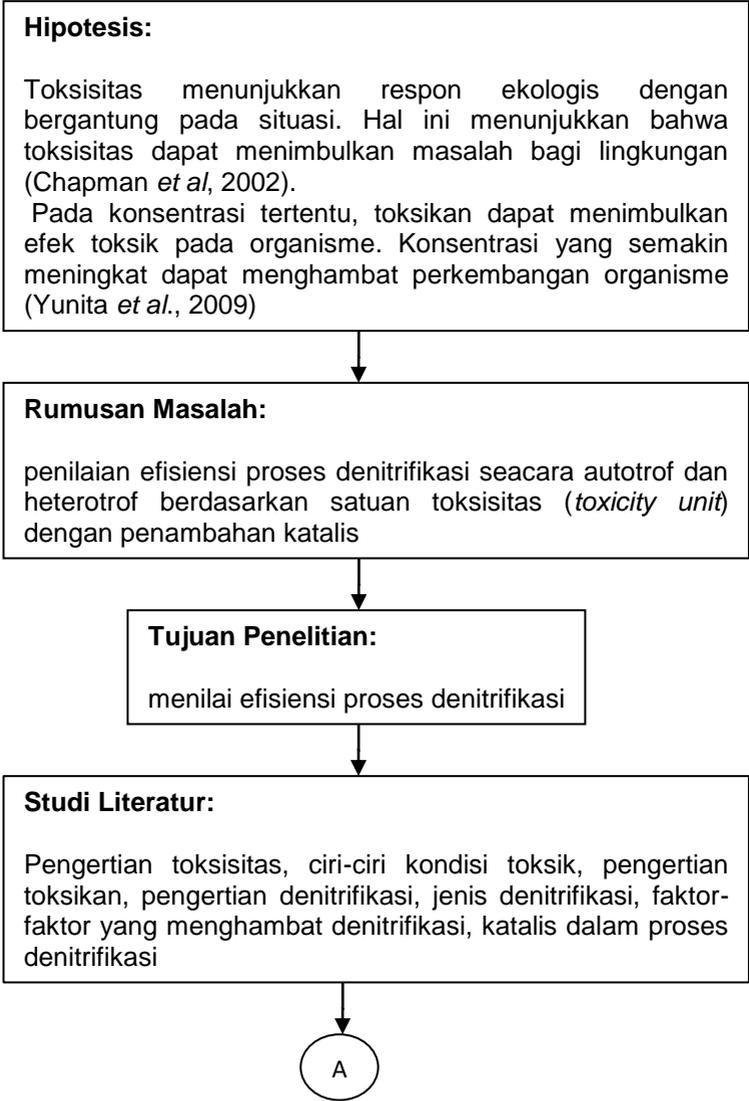
2005). Konsentrasi nitrat yang berlebihan menyebabkan toksisitas dan bahkan kematian pada hewan air (Romano & Zeng, 2009).

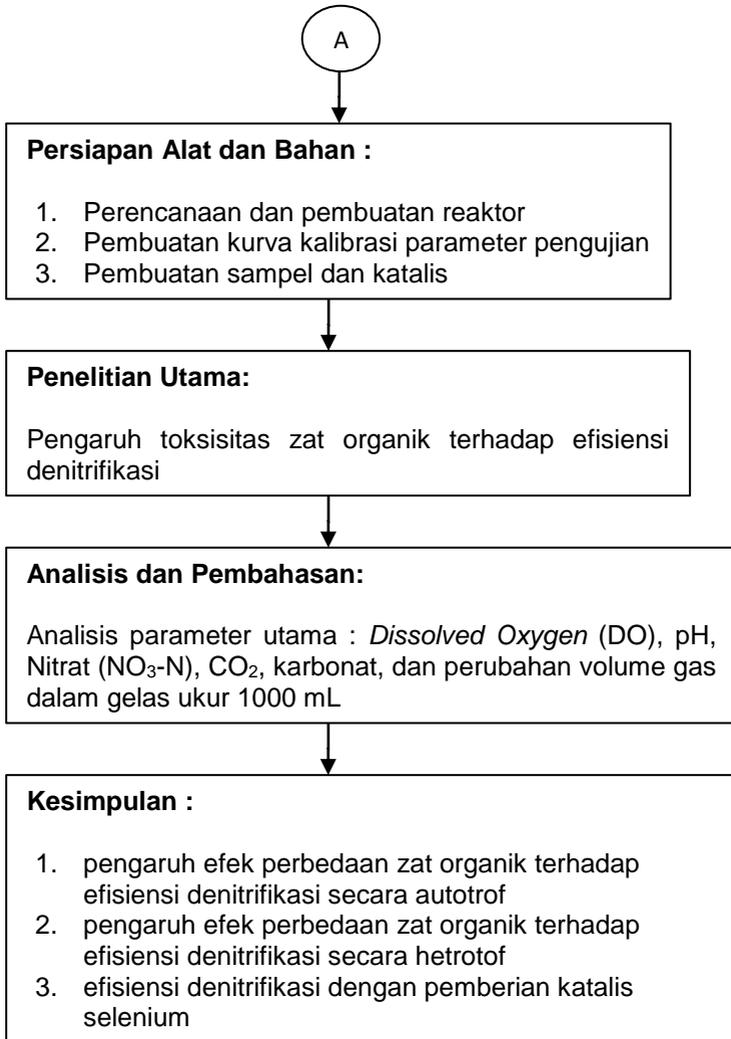
Penelitian ini membahas tentang efek perbedaan zat organik terhadap efisiensi proses denitrifikasi. Di antara teknologi remediasi saat ini, denitrifikasi biologis yang terjadi secara alami ketika bakteri denitrifikasi menggunakan nitrat sebagai akseptor elektron untuk proses respirasi dalam lingkungan anaerob. Teknologi ini dianggap sebagai salah satu metode remediasi yang paling ekonomis dan banyak digunakan (Wang dan Chu, 2016). Bakteri denitrifikasi yang digunakan dalam penelitian ini adalah *Thiobacillus Denitrificans*. Variabel yang digunakan adalah variasi konsentrasi nitrat, variasi proses, dan penggunaan katalis. Selama penelitian berlangsung, dilakukan uji parameter terhadap sampel air meliputi *Dissolved Oxygen* (DO), pH, Nitrat (NO₃-N), karbonat, dan perubahan volume gas dalam gelas ukur 1000 mL.

3.3 Studi Literatur

Studi literatur merupakan bagian yang tidak dapat dipisahkan dari sebuah penelitian. Studi literatur diperlukan untuk memberikan pengetahuan serta referensi terhadap topik penelitian. Studi literatur yang dilakukan pada penelitian ini bersumber dari buku, jurnal penelitian nasional maupun internasional, review jurnal, paper, seminar, dan tugas akhir yang berhubungan. Literatur yang dicantumkan pada penelitian ini antara lain pengertian toksisitas, ciri-ciri kondisi toksik, pengertian toksikan, pengertian denitrifikasi, faktor-faktor yang menghambat denitrifikasi, katalis dalam proses denitrifikasi, dan penelitian terdahulu mengenai topik penelitian ini.

Studi literatur dapat membantu pembahasan hasil penelitian. Hasil penelitian dapat merujuk dan membandingkan hasil yang didapat dari studi literatur. Studi literatur dapat pula digunakan untuk memperkuat hasil analisis penelitian yang dilakukan. Apabila terdapat perbedaan hasil penelitian dengan hasil pada studi literatur, hal tersebut bukan merupakan kesalahan penelitian. Hasil yang berbeda dapat diartikan sebagai *update* data dari penelitian terdahulu.





Gambar 3. 1 Kerangka Penelitian

3.4 Persiapan Penelitian

3.4.1 Pembuatan Reagen untuk Analisis Nitrat

- a. Pembuatan larutan brucin sulfat 0,5%
Menimbang 2,5 gram serbuk brucin asetat dan dilarutkan menggunakan aquades dalam labu pengencer 500 mL.
- b. Pembuatan larutan standar nitrat
Menimbang 0,3609 gram KNO_3 dan melarutkannya dengan aquades sebanyak 500 mL menggunakan labu pengencer.

3.4.2 Pembuatan Reagen untuk Analisis Karbonat

- A. Indikator PP 0,05%
 - Menimbang serbuk PP sebanyak 100 mg
 - Melarutkannya dengan 100 mL alkohol 70%
 - menambahkan aquades hingga 200 mL
- B. Pembuatan Indikator MO 0,01%
 - Menimbang serbuk MO sebanyak 10 mg
 - Melarutkannya dengan 100 mg aquades
- C. Pembuatan HCl 0,1 N
 - Mengambil HCl pekat sebanyak 38 ml menggunakan gelas ukur
 - Menambahkan 1000 mL aquades dalam labu pengencer

3.4.3 Pembuatan Media Nutrient Broth (NB)

Pada pembuatan 1 liter media NB membutuhkan 8 gram serbuk NB. Pembuatan media diawali dengan menimbang serbuk NB pada neraca analitik sesuai dengan kebutuhan. Kemudian melarutkan serbuk NB dengan aquades dan mengaduknya dengan spatula. Larutan NB kemudian dimasukkan dalam Erlenmeyer 250 mL dan ditutup menggunakan aluminium foil untuk proses sterilisasi. Sterilisasi dilakukan dengan menggunakan *autoclave* selama ± 120 menit dengan suhu 121°C . Media NB digunakan untuk analisis *Optical Density (OD)*.

3.4.4 Pembuatan Larutan Fisiologis

Larutan fisiologis atau pengencer digunakan untuk mengencerkan sampel yang mengandung mikroba agar dapat mempermudah perhitungan *Optical Density (OD)*. Pada penelitian ini digunakan larutan garam fisiologis 0,85% NaCl. Langkah awal yang dilakukan adalah menimbang sebungkus NaCl pada neraca analitik sesuai dengan kebutuhan. Kemudian melarutkannya dengan 1 liter aquades dan diaduk hingga homogeny. Larutan NaCl yang telah homogeny kemudian disterilkan menggunakan *autoclave* pada suhu 121°C.

3.4.5 Pembuatan Larutan Katalis

Larutan katalis yang digunakan adalah selenium. Pertama, timbang selenium sebanyak 1,8 gram pada neraca analitik. Kemudian dilarutkan dengan 100 mL aquades dalam *beker glass*. Larutan diaduk hingga homogeny menggunakan spatula.

3.5 Persiapan Mikroba

Mikroba yang digunakan adalah *Thiobacillus Denitrificans* siap pakai yang didapat dari laboratorium Biologi UNAIR. Jumlah mikroba yang disiapkan sebanyak 150mL. Mikroba tersebut disimpan di kulkas sebagai stok bakteri.

3.6 Pelaksanaan Penelitian

Penelitian dilakukan dengan variasi konsentrasi nitrat, variasi proses, dan pemberian katalis. Penelitian ini dilakukan untuk mengetahui efek perbedaan terhadap efisiensi denitrifikasi secara autotrof dan heterotrof. Data penelitian diambil selama 7 hari untuk parameter Analisis *Dissolved Oxygen (DO)*, Karbonat, pH, Nitrat (NO₃-N), dan perubahan volume gas. Variasi proses digunakan proses autotrof dan heterotrof. Proses denitrifikasi dengan bantuan mikroba autotrof cukup dengan menggunakan bahan anorganik dan sumber karbon dari CO₂. Salah satu jenis mikroba ini adalah *Thiobacillus denitrificans* yang dapat mereduksi nitrat menjadi nitrogen gas. Proses menggunakan

mikroba heterotrof, yaitu dengan menambahkan bahan organik sebagai donor hidrogen kedalam air limbah (Nugroho, 2003).

3.6.1 Pembuatan Limbah *Artificial*

Limbah yang digunakan merupakan limbah buatan yang berasal dari bahan kimia yang berbahaya pro analisis (pa) atau murni. Penelitian ini tidak menggunakan studi kasus limbah domestik dimaksudkan karena menggunakan limbah buatan dapat dibuat variasi konsentrasi yang diinginkan. Bahan untuk membuat limbah buatan ini yaitu glukosa, KNO_3 , dan KH_2PO_4 serta penambahan variasi konsentrasi pada masing-masing reaktor sebesar 20 mg/L, 40 mg/L, 60 mg/L, 80 mg/L, dan 100 mg/L. Rasio C:N:P sebesar 250:5:1 untuk menjaga kebutuhan nutrient bakteri.

Pada reaktor denitrifikasi autotrof, bahan yang digunakan hanya KNO_3 sebagai sumber N dan KH_2PO_4 sebagai sumber P. Sedangkan pada reaktor heterotrof, bahan yang digunakan adalah glukosa, KNO_3 , dan KH_2PO_4 . Limbah yang dibuat untuk setiap reaktor yaitu 1,8 liter. Satu liter dari komposisi konsentrasi nitrat dan 800 mL dari komposisi *nutrient*. Berikut merupakan komposisi limbah *artificial* yang digunakan:

C:N:P \longrightarrow 250:5:1 (mmol)

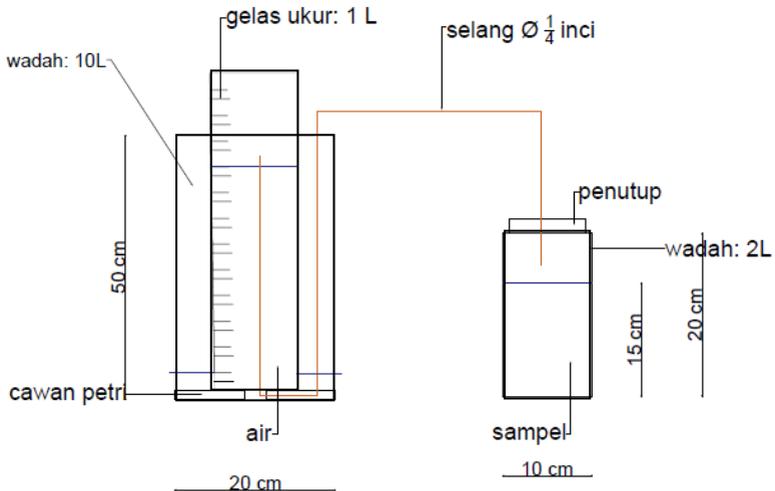
- Sumber C dari $\text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6$
Massa = rasio mol C x Mr glukosa
= 250 x 180
= 45000 mg
= 45 gram
- Sumber N dari KNO_3
Massa = rasio mol C x Mr KNO_3
= 5 x 101
= 505 mg
= 0,505 gram
- Sumber P dari KH_2PO_4
Massa = rasio mol P x Mr KH_2PO_4
= 1 x 136
= 136 mg
= 0,136 gram

3.6.1 Pengukuran Optical Density

Langkah awal yang dilakukan adalah memindahkan larutan stok bakteri ke dalam Erlenmeyer yang berisi media cair. Stok bakteri diambil sebanyak 5% dari volume media yang disiapkan di Erlenmeyer. Pemindahan bakteri dilakukan menggunakan mikropipet steril dan pada kondisi aseptik. Selanjutnya bakteri diletakkan pada shaker selama \pm 48 jam dengan putaran 150 rpm dengan kondisi Erlenmeyer tertutup.

Setelah 48 jam, pindahkan sampel bakteri ke dalam *tube centrifuge* steril hingga penuh. Selanjutnya sampel dimasukkan *centrifuge* selama 15 menit. Setelah 15 menit, sampel dikeluarkan dan dibuang bagian *supernatant* secara perlahan agar sampel bakteri tidak ikut terbang. Kemudian bilas dinding *tube* menggunakan NaCl 0,85% secara perlahan. Pindahkan sampel bakteri ke dalam kuvet yang sebelumnya telah dibilas dengan NaCl. Siapkan *spectrophotometer* untuk dilakukan pembacaan OD.

3.6.2 Pembuatan Reaktor



Gambar 3.2 Ilustrasi reaktor yang digunakan pada penelitian

Reaktor anaerob terbuat dari toples plastik kapasitas 2 liter sebanyak 22 buah. Reaktor anaerob dibuat tertutup, dipertahankan tidak ada oksigen dan ditutup dengan tutup karet (Putri *et al.*, 2013). Reaktor dihubungkan ke gelas ukur 1000 mL menggunakan selang ukuran $\frac{1}{4}$ inch. Selang berfungsi untuk menyalurkan N₂ dari sampel ke gelas ukur agar dapat dibaca volume gas. Selang pada wadah sampel dipasang di atas batas air untuk menangkap gas yang terbentuk. Gelas ukur diletakkan pada wadah dengan volume 10 L dengan posisi vertikal. Di bawah gelas ukur diberi bantalan sepasang cawan petri untuk mencegah selang terjepit. Gelas ukur diisi dengan air kran. Pada reaktor yang memerlukan katalis, katalis ditambahkan sebanyak 10 mL. Ilustrasi reaktor yang akan digunakan dapat dilihat pada Gambar 3.1.

3.7 Hasil dan Pembahasan

Hasil dan pembahasan disajikan dengan gambar, grafik, dan tabel untuk mempermudah penyampaian. Data hasil penelitian diperoleh dari analisis parameter. Parameter yang dianalisis pada penelitian ini terdiri dari parameter *Dissolved Oxygen* (DO), pH, dan Nitrat (NO₃-N), karbonat, perubahan volume gas. Metode analisis yang digunakan dapat dilihat pada Tabel 3.2.

Tabel 3.1 Metode Analisis Parameter Utama

Analisis	Tujuan	Metode/Alat	Standar
Karbonat	Mengetahui jumlah karbonat	Metode Asidimetri	Day dan Underwood, 2002
Nitrat (NO ₃ -N)	Mengetahui kandungan dan penurunan nitrat dalam sampel	Metode Spektrofotometri <i>UV-Visible</i> secara reduksi cadmium	SNI 6989.79:2011
pH	Menganalisis kondisi keasaman sampel	Metode elektrometrik (pH meter) menggunakan	SNI 06-6989.11-2004

Analisis	Tujuan	Metode/Alat	Standar
		alat <i>Basic pH meter-03771 Denver Instrument</i>	
<i>Dissolved Oxygen (DO)</i>	Mengetahui kecukupan oksigen di dalam reaktor, melihat proses yang terjadi di dalam reaktor DO < 2 mg/L terjadi proses anaerobik	Metode Yodometri (Winkler)	SNI 06-6989.14-2004

Untuk analisis data dan pembahasan yang dilakukan pada penelitian ini mencakup :

- pengaruh efek toksisitas zat organik terhadap efisiensi denitrifikasi secara autotrof
- pengaruh efek toksisitas zat organik terhadap efisiensi denitrifikasi secara hetrotof
- efisiensi denitrifikasi dengan pemberian katalis selenium

Efisiensi dihitung dengan persamaan berikut:

$$\text{Efisiensi (\%)} = \frac{\text{polutan influen} - \text{polutan efluen}}{\text{polutan influen}} * 100\%$$

Hasil analisis dibahas dan diverifikasi kembali dengan tinjauan pustaka, sehingga dapat memberikan kesimpulan. Analisis dan pembahasan dalam penelitian ini akan dibuat dalam bentuk tabel, grafik dan interpretasi yang diperkuat dengan analisis statistik deskriptif.

BAB 4 HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Uji *Optical Density* Bakteri *Thiobacillus Denitrificans*

Uji *optical density* bertujuan untuk menyeragamkan jumlah kultur yang digunakan pada setiap reaktor. Sampel bakteri yang diuji adalah *Thiobacillus Denitrificans*. Sampel diambil dari stok bakteri yang disimpan di kulkas. Digunakan sampel sebanyak 2,2 L pada media cair *Nutrient Broth*. Sampel yang diuji sebelumnya dishaker selama \pm 48 jam pada kecepatan 150 rpm. Shaker bertujuan untuk mengaktifkan bakteri kembali. Perbedaan kondisi bakteri sebelum shaker dan sesudah shaker dapat dilihat pada Gambar 4.1 dan Gambar 4.2.

Pada penelitian ini dilakukan pengukuran OD pada panjang gelombang 600 nm. Pengukuran kekeruhan kultur mikroba adalah metode yang umum digunakan untuk menentukan fase pertumbuhan atau jumlah sel dalam kultur yang tumbuh aktif. Umumnya, penentuan ini dilakukan menggunakan spektrofotometer untuk mengukur absorbansi pada 600 nm. Pengukuran, bagaimanapun, adalah ukuran hamburan cahaya daripada pengukuran cahaya yang diserap. Nilai OD₆₀₀ dapat berbeda di antara jenis sel menggunakan satu instrumen atau ketika mengukur jenis sel yang sama pada spektrofotometer yang berbeda (Inc., 2017). Hasil pengukuran OD untuk *Thiobacillus Denitrificans* menghasilkan absorbansi sebesar 1,920. Hasil tersebut menunjukkan pertumbuhan aktif bakteri, sehingga bakteri dapat digunakan dalam penelitian.



Gambar 4.1 Keadaan sampel bakteri sebelum dilakukan shaker



Gambar 4.2 Keadaan sampel bakteri setelah dilakukan shaker

Dari Gambar 4.1 dan Gambar 4.2 dapat dilihat ada perbedaan kekeruhan antara sampel yang belum dilakukan shaker dan sesudah dilakukan. Sampel bakteri sebelum dilakukan shaker belum aktif sehingga sampel terlihat bening. Pada sampel setelah dilakukan shaker, bakteri telah aktif dan berkembang biak sehingga sampel keruh. Kekeruhan inilah yang dibaca pada uji OD.

4.2 Uji Parameter Nitrat

Nitrat ditemukan di alam dalam bentuk garam sebagai hasil siklus nitrogen. Nitrat terbentuk dari proses nitrifikasi, yaitu oksidasi amoniak dengan bantuan bakteri dalam tanah. Persenyawaan nitrat penting dalam sintesa protein yang dibutuhkan oleh tumbuhan dan hewan. Nitrat banyak digunakan dalam produksi pembuatan pupuk, industri logam, farmasi dan industri makanan sebagai pengawet.

Nitrat ($\text{NO}_3\text{-N}$) adalah bentuk nitrogen yang dinamis dan menjadi bentuk yang paling dominan pada limpasan (*run-off*), masukan sungai, keluarnya air tanah dan deposisi atmosfer ke laut. Nitrat adalah nutrisi utama bagi pertumbuhan alga, nitrat sangat mudah larut dalam air dan bersifat stabil (Kirchman, 2000). Nitrat dihasilkan dari proses oksidasi sempurna senyawa nitrogen dan amonia di perairan (Effendi, 2000). Pada proses denitrifikasi, NO_3 direduksi menjadi *nitrious oxide* (N_2O) dan gas nitrogen (N_2). Pembebasan N_2 adalah hal yang dominan pada denitrifikasi (Herlambang dan Marsidi, 2003).

Pada penelitian ini, parameter nitrat merupakan parameter utama. Nitrat diuji setiap hari selama 7 hari penelitian pada semua reaktor. Pengujian nitrat mengacu pada SNI 6989.79:2011 dengan metode Spektrofotometri *UV-Visible*. Tujuan dari pengujian parameter ini adalah untuk mengetahui penyisihan nitrat setiap harinya, selain itu untuk perhitungan efisiensi proses denitrifikasi. Hasil perhitungan pengujian parameter nitrat dapat dilihat pada Lampiran 4.

Pada reaktor kontrol, kondisi sampel secara fisik bening serta tidak terdapat jamur yang tumbuh. Reaktor heterotrof dengan konsentrasi 60mg/L berwarna coklat keruh. Terlihat adanya jamur yang tumbuh berwarna hitam. Jamur yang

berkembang menyebabkan terjadinya oksidasi sulfur menjadi sulfat disertai dengan reduksi ion nitrat menjadi nitrogen. Karbonat merupakan satu-satunya sumber karbon yang tersedia, sehingga disimpulkan bahwa sel jamur terbentuk dari CO₂ secara kemosintesis (Baalsrud dan Baalsrud, 1954). Kondisi reaktor kontrol dapat dilihat pada Gambar 4.3 dan Gambar 4.4.



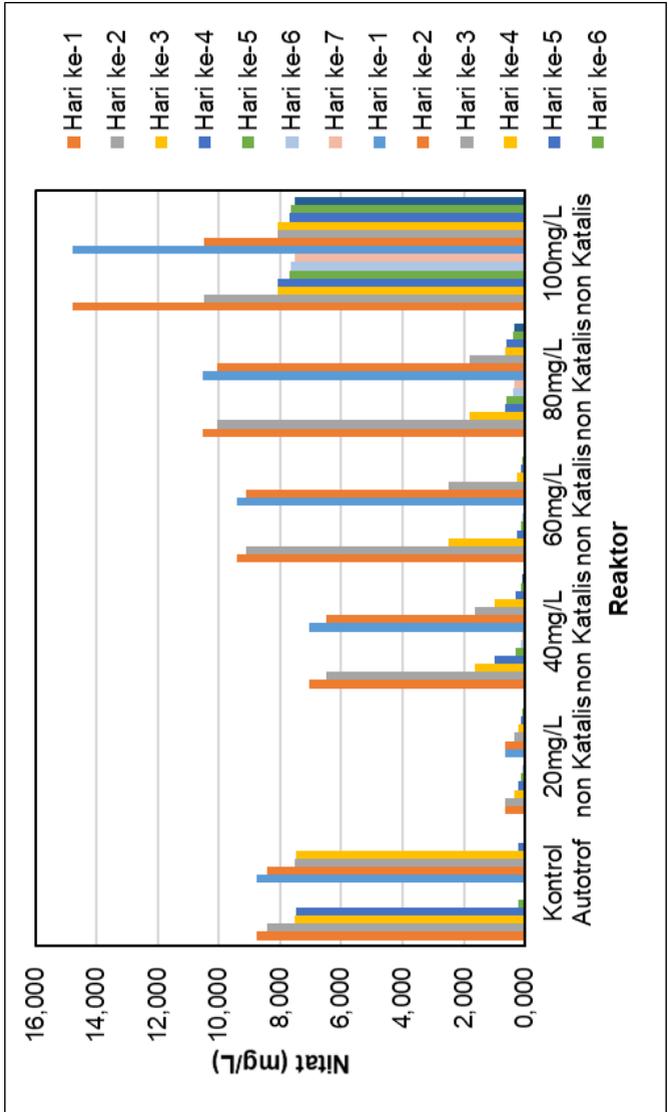
Gambar 4.3 Kondisi reaktor kontrol autotrof



Gambar 4.4 Kondisi reaktor heterotrof dengan konsentrasi 60 mg/L

a. Hasil Uji Parameter Nitrat Secara Autotrof Tanpa Katalis

Dari Gambar 4.5 dapat dilihat terjadi fluktuasi penyisihan nitrat setiap harinya. Pada reaktor 20 mg/L nitrat mempunyai konsentrasi yang kecil sehingga dapat disisihkan dengan sempurna. Pada reaktor 80 mg/L dan 100 mg/L mengalami penyisihan yang relatif tetap. Hal ini mengindikasikan bakteri *Thiobacillus Denitrificans* tidak mampu menyisihkan konsentrasi nitrat yang tinggi. Menurut Scott dan Crunkilton (2000) Toksisitas nitrat meningkat dengan meningkatnya konsentrasi nitrat dan waktu pemaparan. Reaktor 100 mg/L merupakan reaktor dengan konsentrasi tinggi sehingga bakteri terpapar toksikan dan mengalami kematian.



Gambar 4.5 Hasil pengukuran nitrat secara autotrof

b. Hasil Uji Parameter Nitrat Secara Heterotrof Tanpa Katalis

Pada proses ini, semakin lama waktu detensi semakin baik tingkat penyisihan nitrat. Pada reaktor dengan konsentrasi nitrat rendah maupun tinggi, nitrat dapat disisihkan dengan baik. Toksisitas nitrat dapat menurun dengan meningkatnya ukuran tubuh, salinitas air, dan adaptasi lingkungan (Scott & Crunkilton, 2000). Bakteri pada proses heterotrof menerima karbon dari glukosa sebagai nutrisi. Nutrient tersebut membantu bakteri dalam berkembangbiak sehingga penyisihan nitrat lebih baik.

Menurut Texeira dan Oliveira (2002) karbon dibutuhkan sebagai donor elektron dalam kondisi yang rendah oksigen atau anaerob. Perbandingan antara sumber karbon sebagai donor elektron dan nitrat sebagai aseptor elektron sangat penting. Keberadaan sumber karbon sangat mempengaruhi bakteri-bakteri dalam melakukan proses nitrifikasi dan denitrifikasi. Ketika kondisi perairan atau sedimen tambak kaya nitrat, namun miskin sumber karbon, maka dominasi aktivitas kelompok bakteri denitrifikasi akan terlihat. Grafik pengukuran nitrat dapat dilihat pada Gambar 4.6.

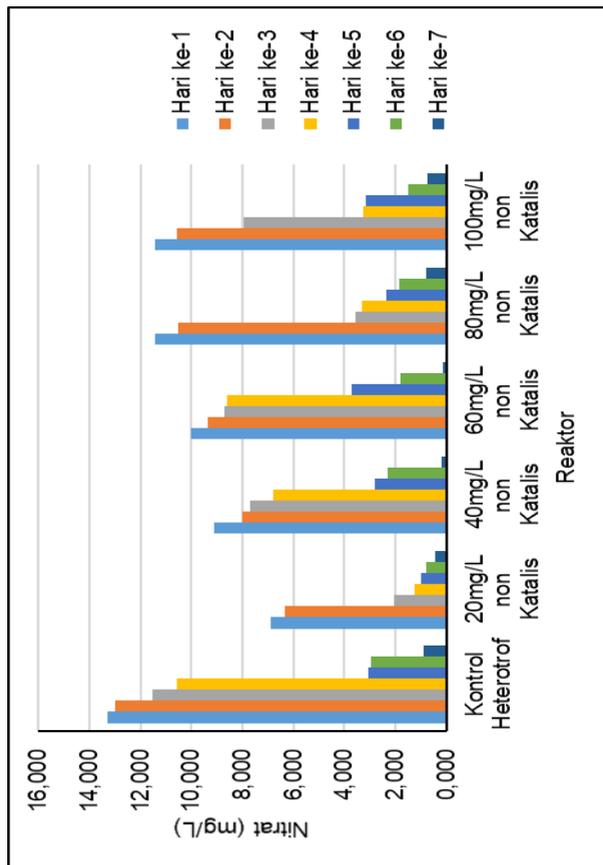
Hasil dari uji parameter nitrat tanpa penambahan katalis yang telah dilakukan kemudian diuji secara statistik ANOVA. Uji ANOVA dilakukan pada *software* Minitab 16 untuk melihat apakah ada perbedaan perlakuan pada masing-masing reaktor. Hasil dari uji ANOVA dapat dilihat pada Tabel 4.1.

Tabel 4.1 Hasil Analisis Statistik ANOVA Uji Parameter Nitrat tanpa Penambahan Katalis Menggunakan Minitab 16

Source	DF	SS	MS	F	P
Factor	11	563,8	51,3	3,92	0
Error	72	941,7	13,1		
Total	83	1505,6			

Berdasarkan Tabel 4.1 dapat dilihat hasil analisa statistik konsentrasi nitrat terhadap kemampuan bakteri dalam menyisihkan nitrat secara autotrof dan heterotrof. Metode yang digunakan adalah *Tukey* atau *Honestly Significance Difference* (HSD). Metode *Tukey* digunakan untuk membandingkan data

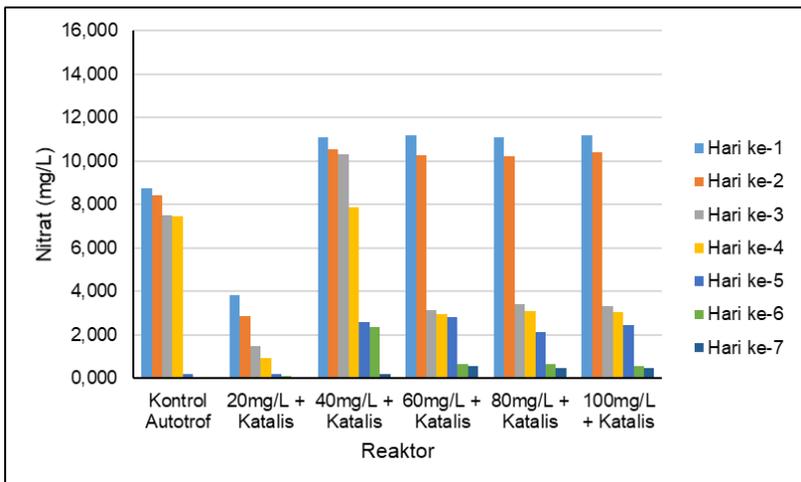
hasil analisis dan menentukan ada tidaknya perbedaan antar perlakuan. Dari hasil analisis, nilai F hitung lebih besar dari F tabel. Kesimpulan dari uji statistik tersebut adalah menerima H1 dan menolak H0. Hal tersebut menyatakan adanya perbedaan secara nyata antara hasil denitrifikasi secara autotrof dengan hasil denitrifikasi secara heterotrof tanpa katalis. Pengaruh proses secara autotrof tanpa katalis sebesar 47,27%, sedangkan proses secara heterotrof sebesar 9,66%.



Gambar 4.6 Hasil pengukuran nitrat secara heterotrof

c. Hasil Uji Parameter Nitrat Secara Autotrof dengan Katalis

Seperti diketahui bahwa katalis merupakan suatu zat yang memiliki fungsi untuk mempercepat terjadinya suatu reaksi atau mempercepat laju reaksi. Dari grafik di bawah dapat dilihat bahwa konsentrasi nitrat yang rendah mampu didegradasi dengan baik. Penyisihan nitrat pada reaktor 20 mg/L menunjukkan penyisihan yang baik hingga hari ke-7. Reaktor 40 mg/L relatif konstan hingga hari ke-3. Setelah hari ke 4 nitrat mulai menurun. Pada reaktor 60 mg/L penurunan nitrat hanya terjadi pada hari ketiga dan hari keenam. Reaktor 100 mg/L menunjukkan penurunan pada hari keempat. Grafik pengukuran nitrat dapat dilihat pada Gambar 4.7.

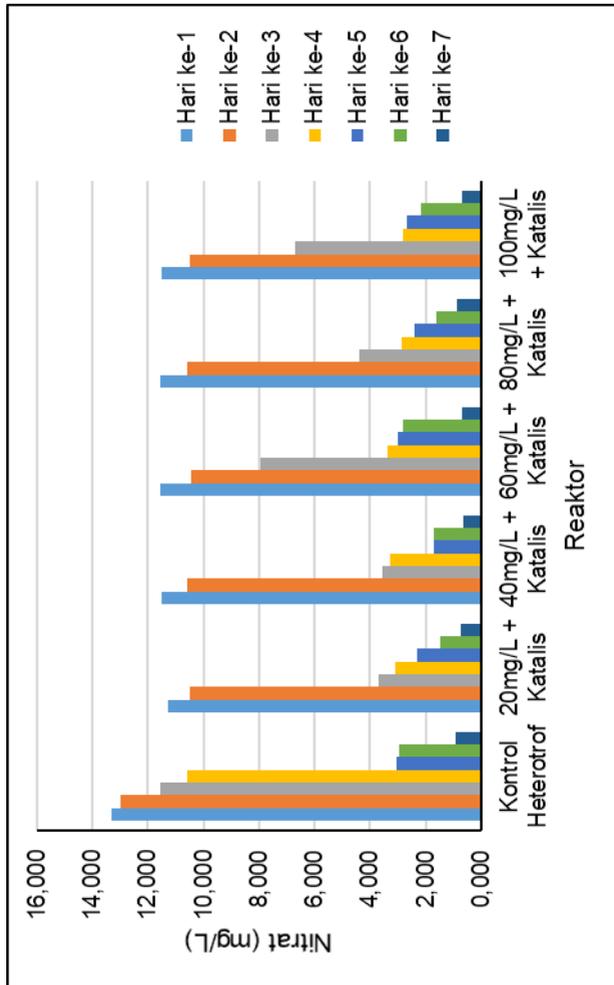


Gambar 4.7 Hasil uji nitrat secara autotrof dengan katalis

d. Hasil Uji Parameter Nitrat Secara Heterotrof dengan Katalis

Pada hari pertama dan kedua belum terlihat adanya penyisihan nitrat. Pada reaktor kontrol, penyisihan nitrat paling besar terlihat pada hari kelima. Kondisi ini menunjukkan waktu

tinggal satu hari terlalu cepat jika dipakai untuk pengolahan limbah nitrat (Herlambang dan Marsidi, 2003). Sedangkan reaktor lain penyisihan terbesar terjadi pada hari ketiga. Grafik pengukuran nitrat dapat dilihat pada Gambar 4.8.



Gambar 4.8 Hasil uji nitrat secara heterotrof dengan katalis

Hasil dari uji parameter nitrat dengan penambahan katalis yang telah dilakukan kemudian diuji secara statistik ANOVA. Uji ANOVA dilakukan pada *software* Minitab 16 untuk melihat apakah ada perbedaan perlakuan pada masing-masing reaktor. Dari uji statistik didapat pula pengaruh dari setiap proses yang dilakukan dalam penelitian. Hasil dari uji ANOVA dapat dilihat pada Tabel 4.2.

Tabel 4.2 Hasil Analisis Statistik ANOVA Uji Parameter Nitrat tanpa Penambahan Katalis Menggunakan Minitab 16

Source	DF	SS	MS	F	P
Factor	11	177,8	16,2	0,87	0,572
Error	72	1336,5	18,6		
Total	83	1514,3			

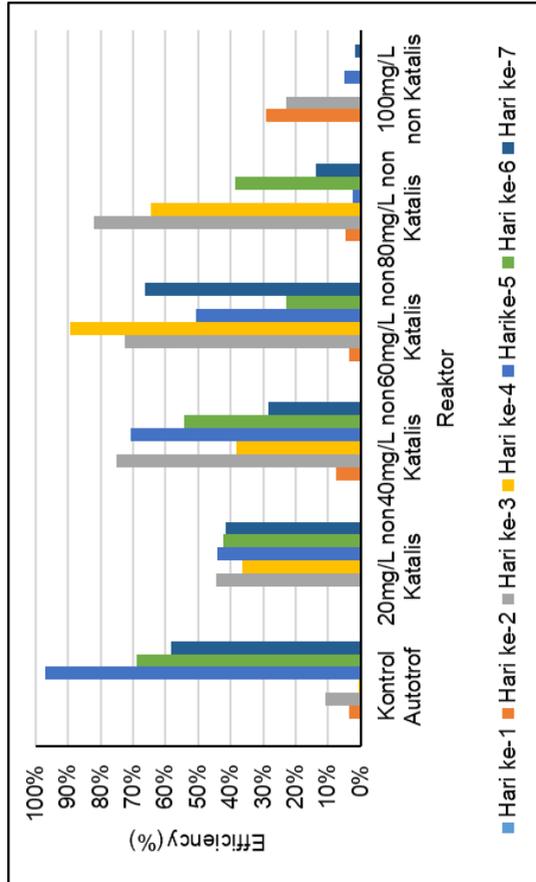
Berdasarkan Tabel 4.2 dapat dilihat hasil analisa statistik konsentrasi nitrat terhadap kemampuan bakteri dalam menyisihkan nitrat secara autotrof dan heterotrof. Metode yang digunakan adalah *Tukey* atau *Honestly Significance Difference* (HSD). Metode *Tukey* digunakan untuk membandingkan data hasil analisis dan menentukan ada tidaknya perbedaan antar perlakuan. Dari hasil analisis, nilai F hitung lebih besar dari F tabel. Kesimpulan dari uji statistik tersebut adalah menerima H1 dan menolak H0. Hal tersebut menyatakan adanya perbedaan secara nyata antara hasil denitrifikasi secara autotrof dengan hasil denitrifikasi secara heterotrof dengan katalis. Pengaruh proses secara autotrof dengan katalis sebesar 15,99%, sedangkan proses secara heterotrof sebesar 0,89%.

4.3 Hasil Perhitungan Efisiensi

4.3.1 Efisiensi Proses Denitrifikasi Secara Autotrof Tanpa Penambahan Katalis

Pada Gambar 4.9 dapat dilihat bahwa reaktor 60 mg/L hari keempat mempunyai efisiensi tertinggi yaitu sebesar 89%. Reaktor 100 mg/L menunjukkan efisiensi yang terendah. Menurut Scott dan Crunkilton (2000) Toksisitas nitrat meningkat dengan

meningkatnya konsentrasi nitrat dan waktu pemaparan. Hal ini menunjukkan nitrat pada konsentrasi 14,785 mg/L menyebabkan sifat toksik pada bakteri di reaktor 100 mg/L.



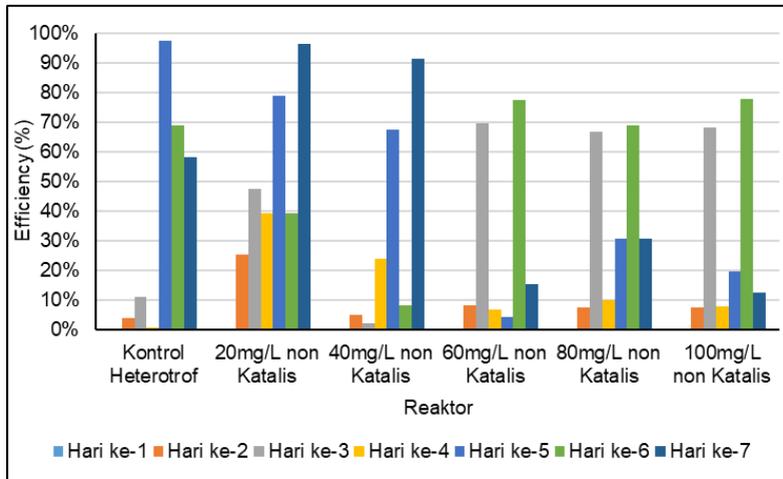
Gambar 4.9 Hasil perhitungan efisiensi Autotrof

Menurut Herlambang dan Marsidi (2003), kemampuan optimal dalam menurunkan nitrat adalah dengan waktu optimal 3 sampai 5 hari. Pada grafik di atas, hari ketiga disimbolkan dengan

diagram batang berwarna abu-abu. Rata-rata pada hari ketiga, efisiensi pada reaktor 20mg/L, 40mg/L, dan 80mg/L mencapai yang tertinggi. Namun, pada reaktor 100mg/L efisiensinya menurun. Menurut Scott dan Crunkilton (2000) toksisitas nitrat meningkat dengan meningkatnya konsentrasi nitrat dan waktu pemaparan.

4.2.2 Efisiensi Proses Denitrifikasi Secara Heterotrof Tanpa Penambahan Katalis

Efisiensi proses denitrifikasi secara heterotrof paling tinggi dicapai pada hari ketujuh yaitu sebesar 92%. Pada hari pertama dan kedua belum terjadi penyisihan nitrat sehingga efisiensi berada pada angka yang kecil. Kondisi ini menunjukkan waktu tinggal satu hari terlalu cepat jika dipakai untuk pengolahan limbah nitrat (Herlambang dan Marsidi, 2003). Efisiensi yang tinggi menunjukkan penyisihan nitrat yang efektif. Hasil pengukuran dapat dilihat pada Gambar 4.10.



Gambar 4.10 Hasil perhitungan efisiensi heterotrof

Menurut Herlambang dan Marsidi (2003), kemampuan optimal dalam menurunkan nitrat adalah dengan waktu optimal 3

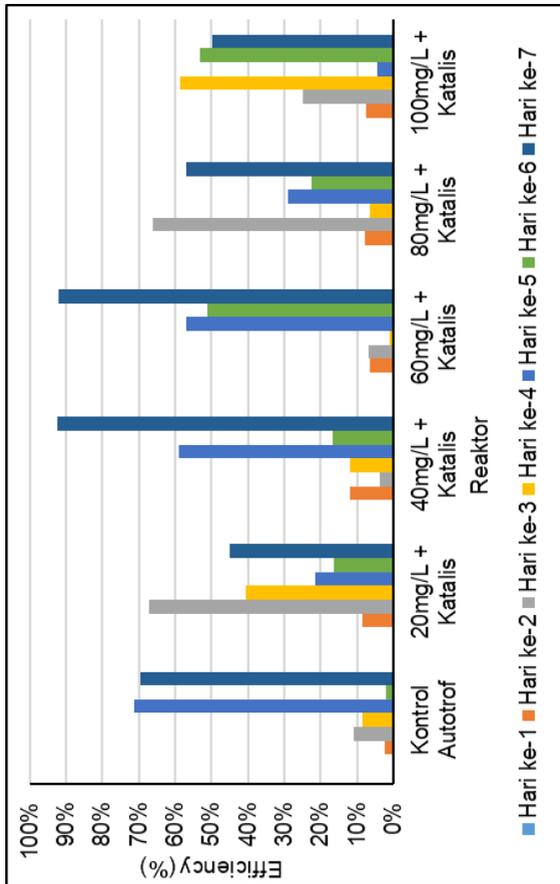
sampai 5 hari. Namun pada grafik efisiensi optimum berada pada hari ketujuh. Proses denitrifikasi sering menghadapi variasi dalam waktu retensi hidrolis (HRT), disebabkan oleh perubahan mendadak karakteristik air limbah dan produk. HRT sering memberikan efek mendalam pada kinerja sistem proses biologis. HRT juga sangat mempengaruhi gaya geser hidrolis dan waktu kontak berbagai polutan dalam reaktor. Selain itu, HRT juga dapat mempengaruhi komponen ekstraseluler polimer zat (EPS), aktivitas mikroba, dan koloni mikroba (Niu, et al., 2017).

4.2.3 Efisiensi Proses Denitrifikasi Secara Autotrof dengan Penambahan Katalis

Efisiensi pada hari ketiga mengalami kenaikan dibandingkan dengan hari pertama dan kedua. Namun, pada hari keempat mengalami penurunan. Kenaikan efisiensi terjadi kembali pada hari kelima. Setelah hari kelima hingga ketujuh, efisiensi cenderung stabil. Fluktuasi ini terjadi karena kondisi dalam reaktor yang kurang homogen. Grafik hasil perhitungan efisiensi dapat dilihat pada Gambar 4.11.

Menurut Herlambang dan Marsidi (2003), kemampuan optimal dalam menurunkan nitrat adalah dengan waktu optimal 3 sampai 5 hari. Pada grafik di atas, hari ketiga disimbolkan dengan diagram batang berwarna abu-abu. Rata-rata pada hari ketiga, efisiensi pada reaktor 20mg/L dan 80mg/L mencapai yang tertinggi. Namun, pada reaktor 100mg/L efisiensinya menurun. Menurut Scott dan Crunkilton (2000) toksisitas nitrat meningkat dengan meningkatnya konsentrasi nitrat dan waktu pemaparan.

Pada reaktor 40mg/L dan 60mg/L, efisiensi optimum berada pada hari ketujuh. Proses denitrifikasi sering menghadapi variasi dalam waktu retensi hidrolis (HRT), disebabkan oleh perubahan mendadak karakteristik air limbah dan produk. HRT sering memberikan efek mendalam pada kinerja sistem proses biologis. HRT juga sangat mempengaruhi gaya geser hidrolis dan waktu kontak berbagai polutan dalam reaktor. Selain itu, HRT juga dapat mempengaruhi komponen ekstraseluler polimer zat (EPS), aktivitas mikroba, dan koloni mikroba (Niu, et al., 2017).

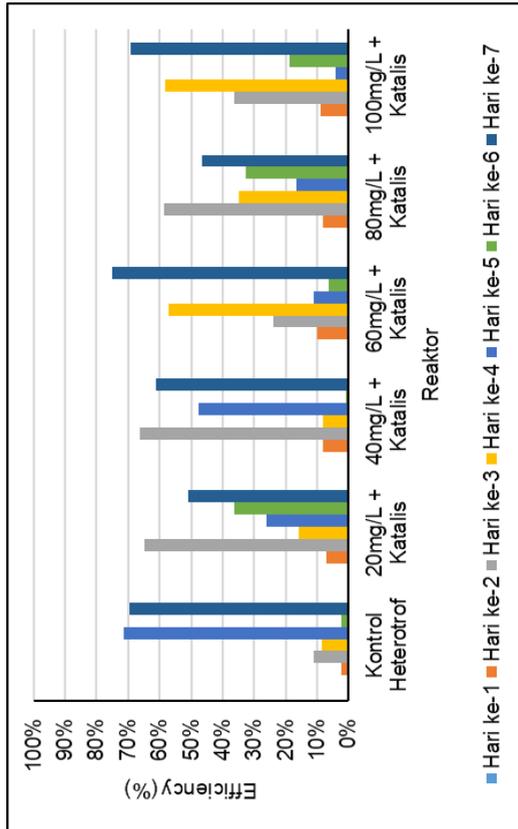


Gambar 4.11 Hasil perhitungan efisiensi autotrof dengan katalis

4.2.4 Efisiensi Proses Denitrifikasi Secara Heterotrof dengan Penambahan Katalis

Pada proses ini menunjukkan pada hari ketujuh semua reaktor menunjukkan efisiensi yang tinggi. Hal ini mengindikasikan proses denitrifikasi secara heterotrof mampu berjalan baik pada konsentrasi nitrat yang tinggi. Sama seperti hasil pada proses autotrof, hari pertama dan kedua pengolahan

belum efisien. Grafik hasil perhitungan efisiensi dapat dilihat pada Gambar 4.12.



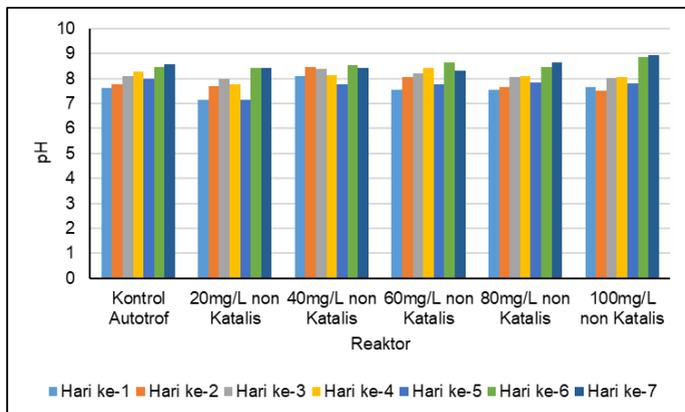
Gambar 4.12 Hasil perhitungan efisiensi heterotrof dengan katalis

Menurut Herlambang dan Marsidi (2003), kemampuan optimal dalam menurunkan nitrat adalah dengan waktu optimal 3 sampai 5 hari. Pada grafik di bawah, hari ketiga disimbolkan dengan diagram batang berwarna abu-abu. Rata-rata pada hari ketiga, efisiensi pada reaktor 20mg/L, 40mg/L, dan 80mg/L mencapai yang tertinggi. Namun, pada reaktor 60mg/L dan 100mg/L

efisiensi paling tinggi adalah pada hari ketujuh. Proses denitrifikasi sering menghadapi variasi dalam waktu retensi hidrolis (HRT), disebabkan oleh perubahan mendadak karakteristik air limbah dan produk. HRT sering memberikan efek mendalam pada kinerja sistem proses biologis. HRT juga sangat mempengaruhi gaya geser hidrolis dan waktu kontak berbagai polutan dalam reaktor (Niu, et al., 2017).

4.3 Pengukuran pH

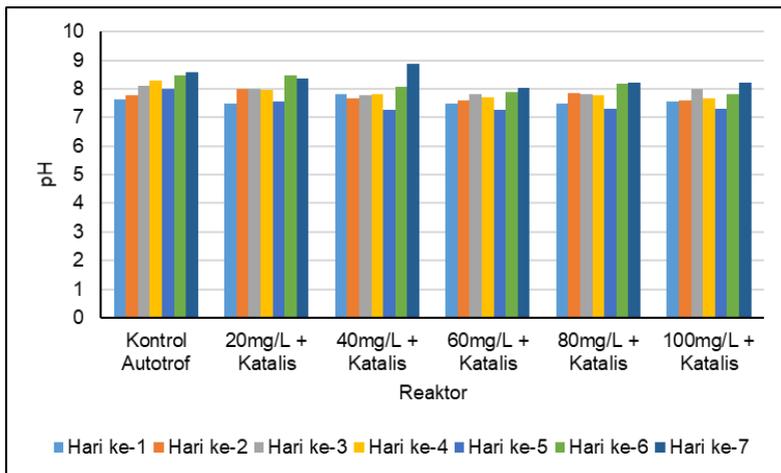
Derajat keasaman (pH) merupakan salah satu faktor lingkungan yang berpengaruh terhadap pertumbuhan dan aktivitas bakteri (Esoy, et al., 1998). Denitrifikasi paling efektif pada pH antara 7,0 - 8,5 dan optimal sekitar 7,0. *Alkalinity* dan pH naik selama terjadi denitrifikasi (Herlambang & Marsidi, 2003). Derajat keasaman (pH) optimum untuk pertumbuhan bakteri pengoksidasi ammonia yang bersifat autotrofik berkisar antara 7,5 dan 8,5 (Ratledge, 1994). Sedangkan bakteri yang bersifat heterotrofik lebih toleran pada lingkungan asam, dan tumbuh lebih cepat dengan hasil yang lebih tinggi pada kondisi dengan konsentrasi oksigen terlarut rendah (Zhao, et al., 1999). Pada penelitian ini hasil analisis pH berkisar antara 4,2-8,92. Tabel hasil pengukuran pH dapat dilihat pada Lampiran 5, sedangkan grafik akumulasi pengukuran pH dapat dilihat pada Gambar 4.13 sampai dengan Gambar 4.16.



Gambar 4.13 pengukuran pH pada reaktor autotrof tanpa katalis

Pada Gambar 4.13, pH pada reaktor autotrof tanpa penambahan katalis berada pada rentang di atas pH 7. Kondisi tersebut merupakan kondisi basa. Pada reaktor kontrol, pH semakin naik dari hari pertama pengukuran. Kenaikan pH terjadi secara perlahan setiap harinya. Pada hari pertama, pH menunjukkan angka 7,63. pH naik pada hari kedua menjadi 7,63. Hari ketiga pH mencapai 8,09 dan hari keempat naik menjadi 8,28. pH mengalami penurunan pada hari kelima menjadi 8. Pada hari keenam dan ketujuh, pH mengalami kenaikan yang cukup tinggi berturut-turut menjadi 8,48 dan 8,59.

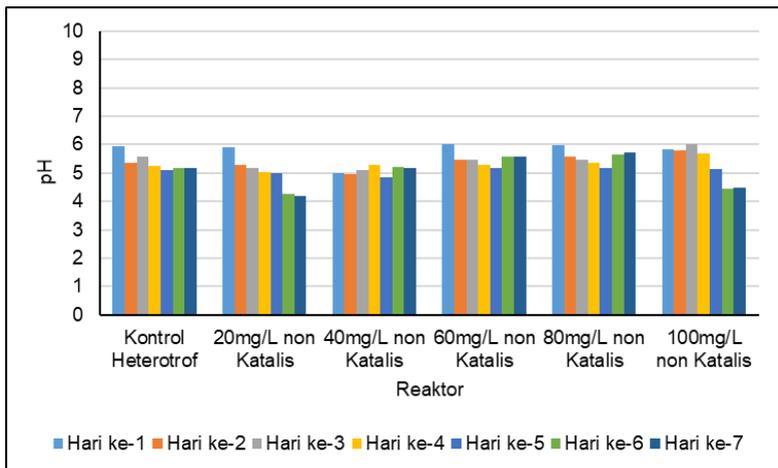
Pada reaktor 20 mg/L, pH pada hari pertama sebesar 7,16. pH mengalami kenaikan pada hari kedua dan ketiga menjadi 7,68 dan 8. Namun, pada hari keempat dan kelima terjadi penurunan yang cukup tinggi yaitu menjadi 7,76 dan 7,15. Pada hari keenam dan ketujuh, pH berada pada angka 8,42 dan 8,44. Kondisi pH pada reaktor 40 mg/L mengalami penurunan tepat pada hari ketiga sampai dengan hari kelima. Kenaikan pH terjadi pada keenam dan ketujuh menjadi 8,52 dan 8,44. Pada reaktor 60 mg/L, hari pertama sampai dengan hari keempat mengalami kenaikan. Penurunan terjadi pada hari kelima dan ketujuh. pH tertinggi yaitu pada hari keenam yang mencapai 8,64.



Gambar 4.14 pengukuran pH pada reaktor autotrof dengan katalis

Pada Gambar 4.14, pH pada reaktor autotrof dengan penambahan katalis berada pada rentang di atas pH 7. Kondisi tersebut merupakan kondisi basa. Pada reaktor kontrol, pH semakin naik dari hari pertama pengukuran. Kenaikan pH terjadi secara perlahan setiap harinya. Pada hari pertama, pH menunjukkan angka 7,63. pH naik pada hari kedua menjadi 7,63. Hari ketiga pH mencapai 8,09 dan hari keempat naik menjadi 8,28. pH mengalami penurunan pada hari kelima menjadi 8. Pada hari keenam dan ketujuh, pH mengalami kenaikan yang cukup tinggi berturut-turut menjadi 8,48 dan 8,59.

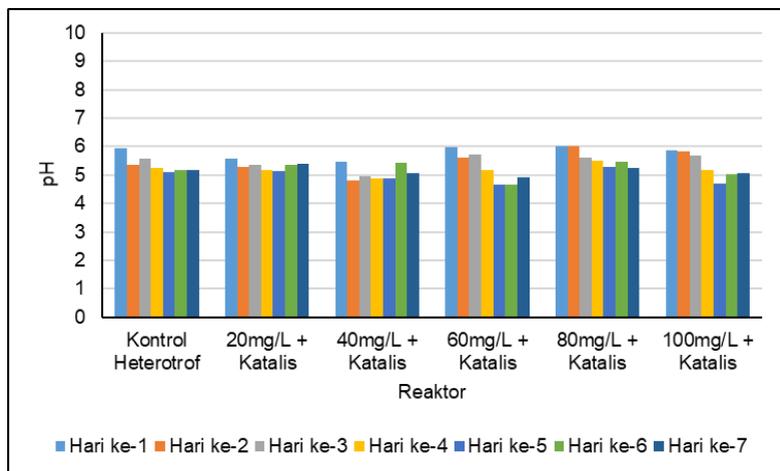
Pada reaktor 20 mg/L, pH pada hari pertama sebesar 7,48. pH mengalami kenaikan pada hari kedua dan ketiga menjadi 7,98 dan 8. Namun, pada hari keempat dan kelima terjadi penurunan yaitu menjadi 7,96 dan 7,54. Pada hari keenam dan ketujuh, pH berada pada angka 8,46 dan 8,35. Kondisi pH pada reaktor 40 mg/L mengalami penurunan pada hari kedua dan hari kelima. Pada reaktor 60 mg/L, hari pertama sampai dengan hari ketiga mengalami kenaikan dari pH awal 7,5. Penurunan terjadi pada hari keempat dan kelima. pH tertinggi yaitu pada hari ketujuh yang mencapai 8,04.



Gambar 4.15 pengukuran pH pada reaktor heterotrof tanpa katalis

Pada Gambar 4.15, pH pada reaktor heterotrof tanpa penambahan katalis berada pada rentang di bawah pH 7. Kondisi tersebut merupakan kondisi asam. Pada reaktor kontrol, pH semakin turun dari hari pertama pengukuran. penurunan pH terjadi secara perlahan setiap harinya. Pada hari pertama, pH menunjukkan angka 5,93. pH turun pada hari kedua menjadi 5,36. Hari ketiga pH mencapai 5,59 dan hari keempat turun menjadi 5,23. pH mengalami penurunan pada hari kelima menjadi 5,1. Pada hari keenam dan ketujuh, pH berada pada angka yang sama yaitu 5,17.

Pada reaktor 20 mg/L, pH pada hari pertama sebesar 5,9. pH mengalami penurunan pada hari kedua sampai dengan hari ketujuh dari 5,3 sampai dengan 4,2. Kondisi pH pada reaktor 40 mg/L mengalami penurunan pada hari kedua, kelima, dan ketujuh. Pada reaktor 60 mg/L, hari pertama sampai dengan hari kelima mengalami penurunan dari pH awal 6. kenaikan terjadi pada hari keenam dan ketujuh. pH tertinggi yaitu pada hari ketujuh yang mencapai 5,59.



Gambar 4.16 pengukuran pH pada reaktor heterotrof dengan katalis

Dapat dilihat pada Gambar 4.13 dan Gambar 4.14, hasil pengukuran pH pada kondisi autotrof yaitu di atas 7. Hal ini sesuai dengan penelitian terdahulu yang menyatakan proses denitrifikasi secara autotrof berjalan efektif pada pH 7-8,5. Pada Gambar 4.15 dan Gambar 4.16, derajat keasaman terukur di bawah 7. Kondisi tersebut sesuai dengan pernyataan (Zhao, *et al.*, 1999) bahwa bakteri yang bersifat heterotrofik lebih toleran pada lingkungan asam.

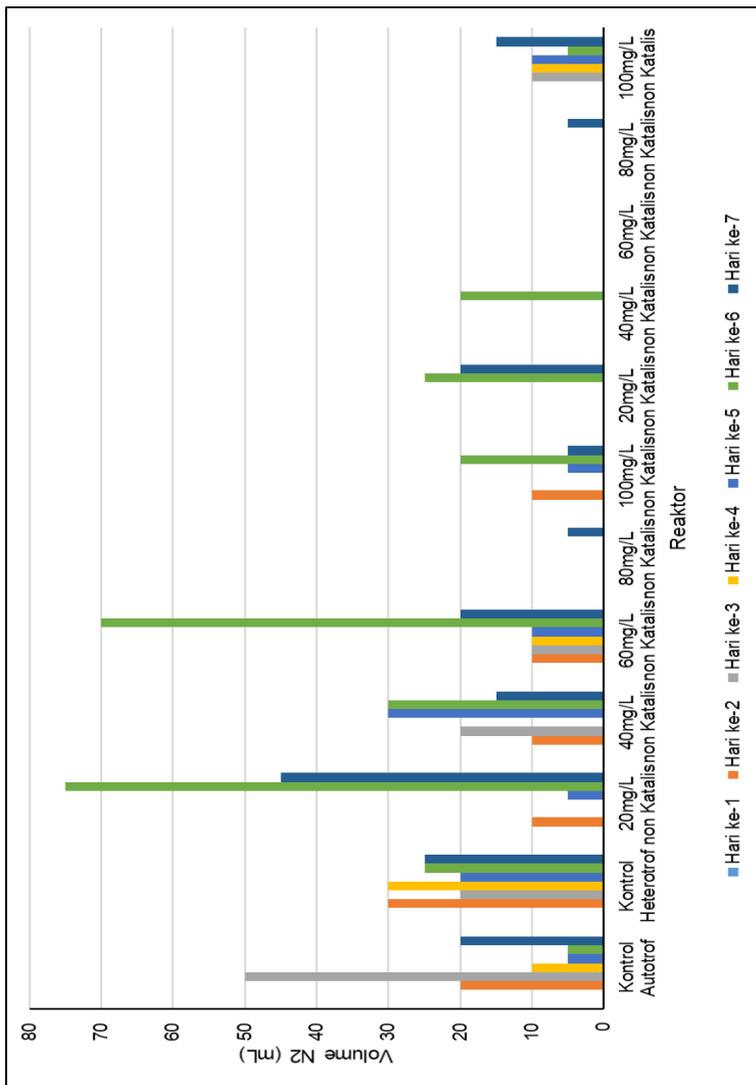
4.4 Pengukuran Volume N₂

Pada proses denitrifikasi, NO₃ direduksi menjadi *nitrous oxide* (N₂O), dan gas nitrogen (N₂). Pembebasan N₂ adalah hal yang dominan pada denitrifikasi. Namun N₂ mempunyai kelarutan yang rendah dalam air sehingga cenderung keluar naik sebagai gelembung. Pengukuran N₂ dilakukan dengan penghitungan akumulasi gas yang diukur menggunakan *bekerglass* terbalik. Pada penelitian ini gas nitrogen yang terukur masih tercampur dengan gas lain yang mungkin terjadi selama proses. Volume gas ini menunjukkan adanya proses reduksi nitrat menjadi gas nitrogen. Pengukuran ini sebagai indikator toksisitas pada sampel. Apabila gas terbentuk maka sampel tidak toksik, sebaliknya apabila gas tidak terbentuk maka sampel mengandung zat toksik. Hasil pengukuran akumulasi volume N₂ dapat dilihat pada Lampiran 6.

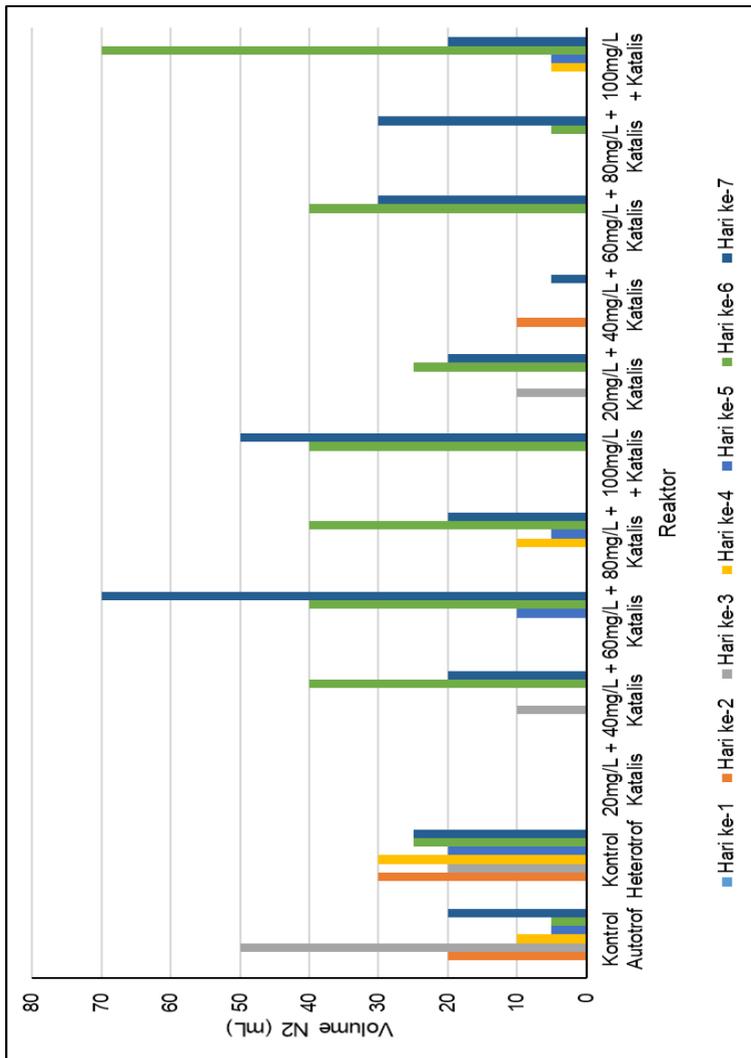
Dari Gambar 4.17 dapat dilihat gas pada proses secara autotrof lebih banyak terbentuk. Hal ini sesuai bahwa *Thiobacillus Denitrificans* merupakan bakteri autotrof. Namun pada penambahan nitrat 80 mg/L dan 100 mg/L, gas yang dihasilkan cenderung tidak ada. Konsentrasi tersebut menyebabkan kondisi toksik bagi *Thiobacillus Denitrificans*. Kondisi tersebut memberikan hubungan sebab akibat pada efisiensi proses. Pada subbab sebelumnya telah ditunjukkan bahwa konsentrasi 80 mg/L dan 100 mg/L menghasilkan efisiensi yang rendah.

Pada proses dengan penambahan katalis, gas yang dihasilkan denitrifikasi secara heterotrofik mengalami fluktuasi. Penambahan katalis berfungsi dalam pembentukan gas pada reaktor dengan konsentrasi inisial nitrat yang tinggi. Dapat dilihat pada reaktor 60 mg/L dan 100 mg/L hari keenam menghasilkan

kenaikan produksi gas. Grafik pengukuran gas pada reaktor dengan katalis dapat dilihat pada Gambar 4.18.



Gambar 4.17 pengukuran volume N₂ pada reaktor tanpa katalis



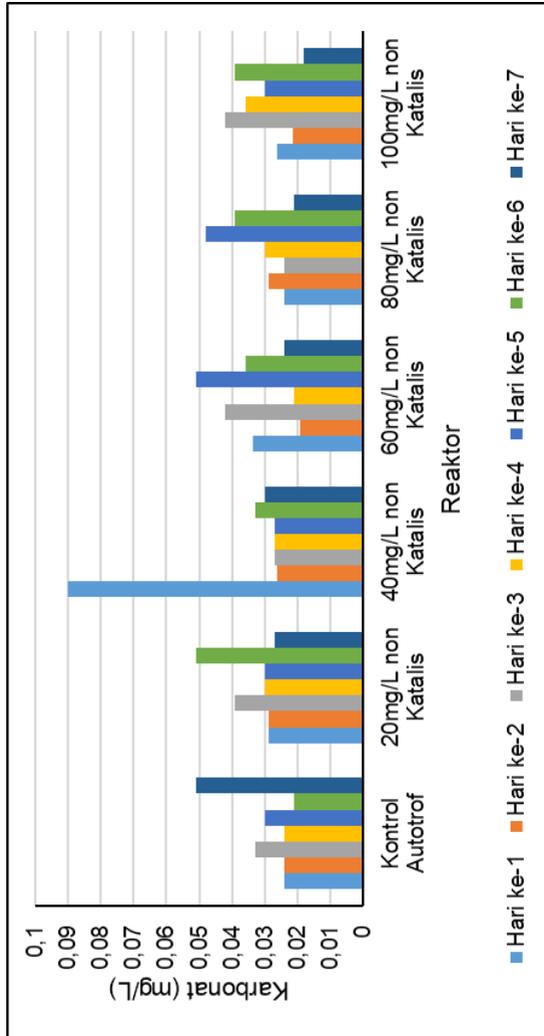
Gambar 4.18 pengukuran volume N₂ pada reaktor dengan katalis

Selain dengan menganalisa pembentukan gas, indikator lain yang dapat digunakan sebagai indikasi adanya toksisitas adalah CFU. CFU dapat menggambarkan perkembangan bakteri sehingga dapat membantu dalam penentuan toksisitas. Menurut Stachura dan Traver (2016) *Colony forming units* (CFUs) adalah pengukuran dari berapa banyak jumlah bakteri atau sel jamur hadir dalam populasi sel tertentu. Jika sel individu memiliki kemampuan untuk berkembang biak dan membelah diri menjadi sel baru di bawah kondisi pertumbuhan tertentu, sel individu tersebut akan membuat koloni individu.

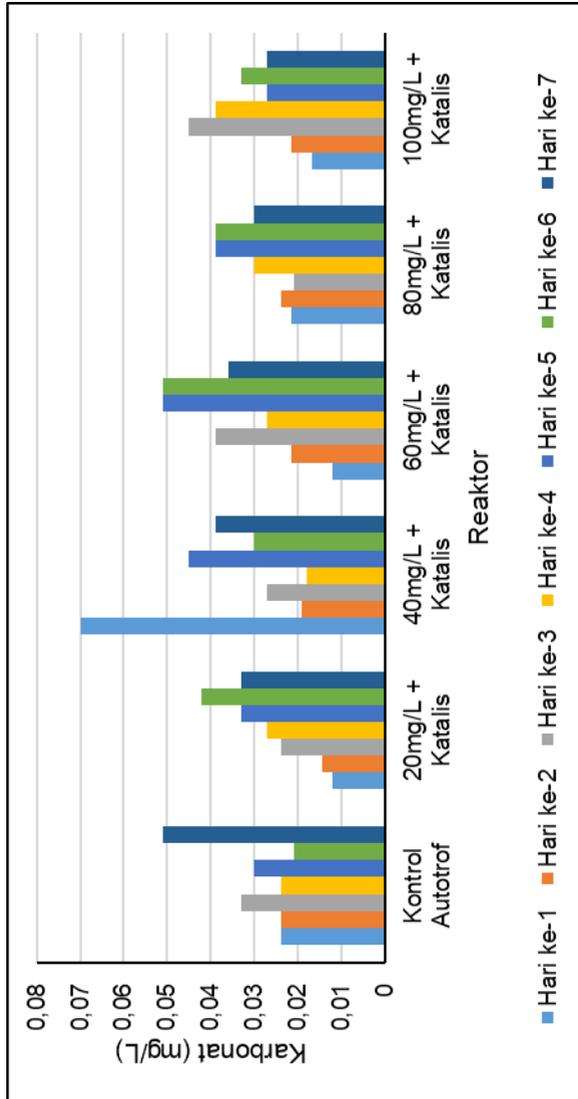
4.5 Pengukuran Karbonat

Pengukuran karbonat bertujuan untuk mengetahui pada proses autotrof terdapat cukup karbon. Denitrifikasi Autotrof menggunakan nitrat atau nitrit sebagai akseptor elektron (Chung, et al., 2014). Denitrifikasi Autotrof dapat berjalan dengan karbon yang relatif rendah dan produksi lumpur yang rendah. Pengukuran karbonat hanya dilakukan pada reaktor autotrof saja. Hasil perhitungan karbonat dapat dilihat pada Lampiran 7. Gambar 4.19 merupakan pengukuran karbonat pada reaktor tanpa katalis. Gambar 4.20 merupakan pengukuran karbonat pada reaktor dengan katalis. Karbonat yang terukur pada reaktor tanpa dan dengan katalis tidak menunjukkan perbedaan yang signifikan.

Pada Gambar 4.19, nilai karbonat yang ada pada masing-masing reaktor selalu berfluktuasi. Dapat dilihat reaktor kontrol mempunyai nilai karbonat tertinggi pada hari ketujuh yaitu sebesar 0,051 mg/L. Nilai karbonat terendah pada reaktor kontrol adalah 0,021 pada hari keenam. Pada reaktor 20 mg/L, nilai karbonat tertinggi mencapai 0,051 mg/L pada hari keenam. Nilai karbonat terendah yaitu 0,027 pada hari ketujuh. Pada reaktor 40 mg/L, 0,09 mg/L karbonat terukur pada hari pertama. Karbonat pada reaktor ini terus mengalami penurunan hingga hari kelima. Pada hari keenam karbonat mencapai 0,033 hingga hari ketujuh. Pada reaktor 80 mg/L, karbonat tertinggi adalah pada hari kelima yaitu sebesar 0,048 dan terendah pada hari ketujuh sebesar 0,021. Pada reaktor 100 mg/L, karbonat terendah pada hari ketujuh sebesar 0,018 mg/L.



Gambar 4.19 pengukuran karbonat pada reaktor tanpa katalis



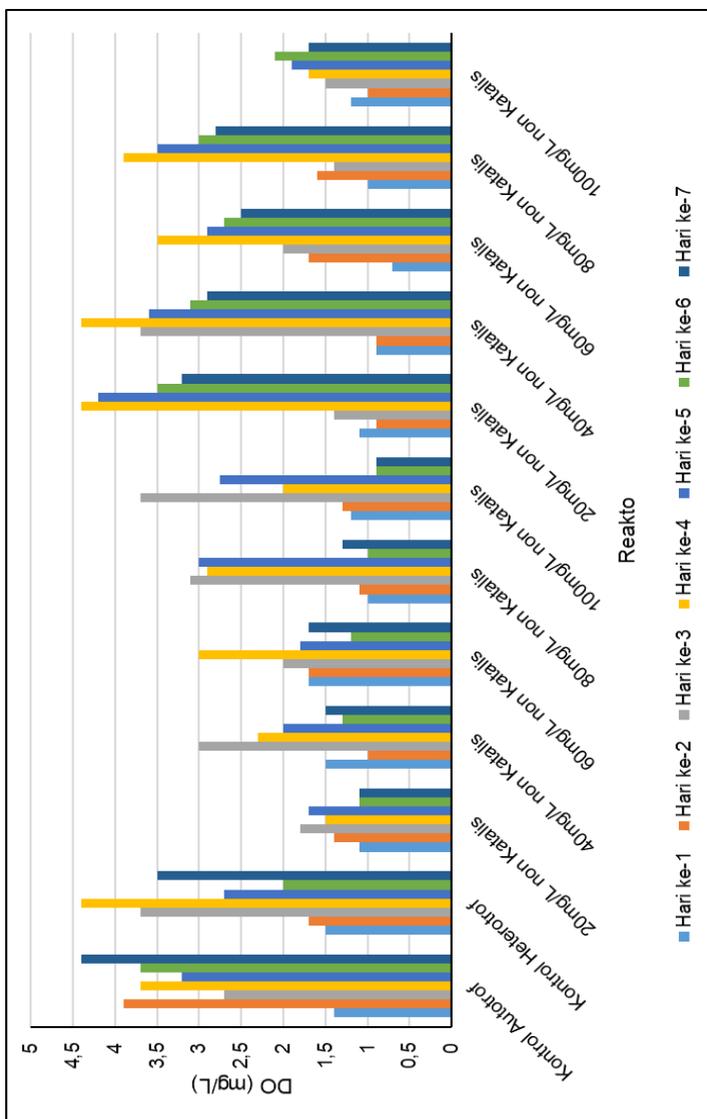
Gambar 4.20 pengukuran karbonat pada reaktor dengan katalis

Pada Gambar 4.20, nilai karbonat mengalami fluktuasi setiap harinya. Dapat dilihat pada reaktor 20 mg/L, sejak hari pertama hingga hari keenam terjadi kenaikan karbonat. Karbonat menurun pada hari ketujuh pada nilai 0,033 mg/L. Pada reaktor 40 mg/L, karbonat tertinggi yaitu pada hari pertama yang mencapai 0,07 mg/L karbonat. Nilai terendah yaitu pada hari keempat yang mencapai 0,018. Selanjutnya pada reaktor 60 mg/L, karbonat yang terbentuk pada hari pertama terus meningkat sampai dengan hari ketiga. Pada hari kelima dan keenam, karbonat yang terbentuk *stagnan* sebesar 0,51. Reaktor dengan nitrat inisial 80 mg/L mempunyai nilai tertinggi sebesar 0,39 pada hari keenam dan ketujuh. Karbonat terendah pada reaktor 100 mg/L yang terukur sebesar 0,0168 dan tertinggi sebesar 0,045 mg/L karbonat.

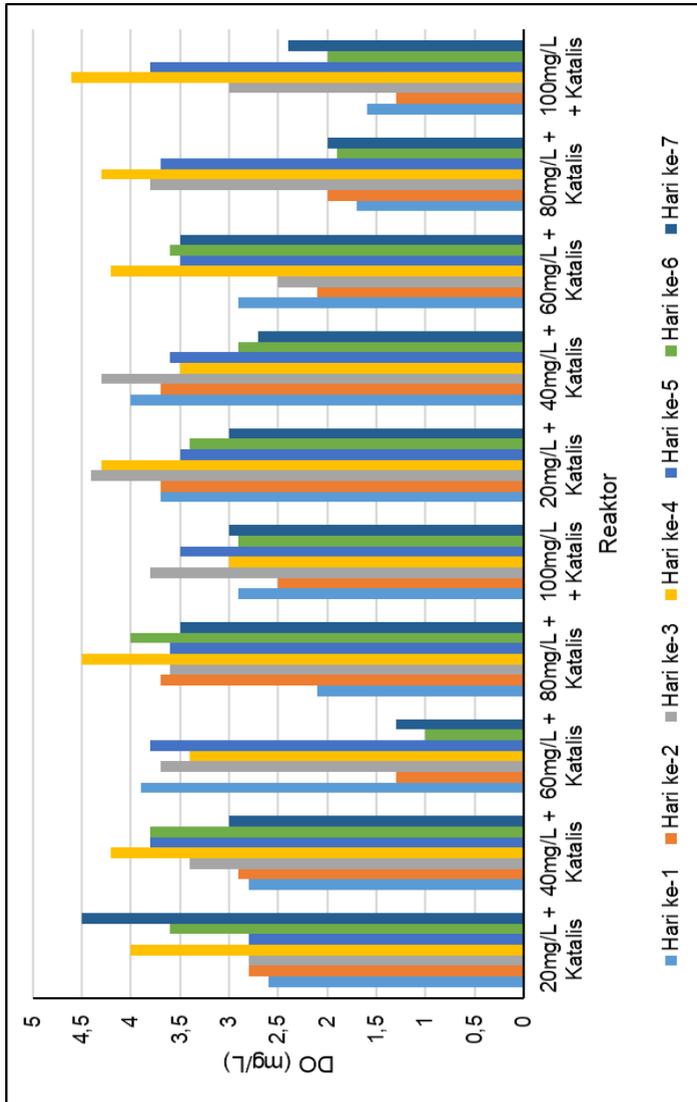
4.6 Pengukuran *Dissolved Oxygen* (DO)

Pengukuran DO bertujuan untuk mengetahui proses yang berjalan dalam reaktor berada pada DO rendah. Untuk itu proses denitrifikasi memerlukan bioreaktor tertutup yang tidak bersentuhan dengan udara luar. Hasil pengukuran DO dapat dilihat pada Lampiran 8. Gambar 4.21 merupakan pengukuran DO pada reaktor tanpa katalis. Gambar 4.22 merupakan pengukuran DO pada reaktor dengan katalis. Pada reaktor dengan penambahan katalis, DO yang terukur lebih tinggi dibandingkan dengan reaktor tanpa katalis.

DO yang terukur pada penelitian ini tinggi dikarenakan adanya kontak udara pada saat pengambilan sampel. Dapat dilihat pada Gambar 4.21 yang merupakan grafik pengukuran DO pada reaktor tanpa katalis. Pada reaktor kontrol autotrof, nilai DO tertinggi yaitu sebesar 4,4 pada hari ketujuh. Pada reaktor kontrol heterotrof, nilai tertinggi sebesar 4,4 pada hari keempat. Secara keseluruhan, DO pada reaktor dengan proses autotrof tanpa katalis tertinggi sebesar 3,7 pada reaktor 100 mg/L hari ketiga. DO terendah sebesar 0,9 pada reaktor 100 mg/L hari keenam dan ketujuh. DO pada reaktor heterotrof tanpa katalis tertinggi sebesar 4,4 dan terendah 0,7.



Gambar 4.21 pengukuran DO pada reaktor tanpa katalis



Gambar 4.22 pengukuran karbonat pada reaktor dengan katalis

Dapat dilihat pada Gambar 4.22 yang merupakan grafik pengukuran DO pada reaktor dengan penambahan katalis. Pada reaktor kontrol autotrof, nilai DO tertinggi yaitu sebesar 4,4 pada hari ketujuh. Pada reaktor kontrol heterotrof, nilai tertinggi sebesar 4,4 pada hari keempat. Secara keseluruhan, DO pada reaktor dengan proses autotrof dengan penambahan katalis sebesar 4,5 pada reaktor 20 mg/L hari ketujuh. DO terendah sebesar 1 pada reaktor 60 mg/L hari keenam. DO pada reaktor heterotrof dengan penambahan katalis tertinggi sebesar 4,6 dan terendah 1,3.

BAB 5

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian yang telah dianalisis dan dibahas, maka dapat ditarik kesimpulan. Kesimpulan dari kedua jenis proses tanpa penambahan katalis, denitrifikasi secara autotrof efisien untuk pengolahan dengan konsentrasi nitrat rendah. Nilai efisiensi tertinggi mencapai 89% pada reaktor 60 mg/L hari keempat. Denitrifikasi heterotrof lebih mampu dalam mengolah nitrat dengan konsentrasi tinggi. Nilai efisiensi menggunakan proses ini mencapai 92%. Pada proses dengan penambahan katalis, proses autotrof menghasilkan efisiensi tertinggi sebesar 96% pada reaktor 20 mg/L pada hari ketujuh. Sedangkan proses secara heterotrof menghasilkan efisiensi tertinggi sebesar 75% pada reaktor 60 mg/L pada hari ketujuh.

5.2 Saran

Beberapa saran yang dapat diberikan oleh penulis setelah melakukan penelitian antara lain:

1. Diperlukan adanya analisis parameter CFU pada reaktor setelah 7 hari masa penelitian, sehingga diketahui kondisi bakteri dalam reaktor.
2. Diperlukan adanya penambahan nutrisi secara kontinyu selama proses pengujian untuk mengoptimalkan perkembangbiakan bakteri.
3. Diperlukan metode tambahan yaitu dengan mengalirkan gas pada KOH sehingga gas yang terukur murni N_2 .

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

DAFTAR PUSTAKA

- Alaerts, G. & Santika, S. S., 1987. *Metode Penelitian Air*. Surabaya: Usaha Nasional.
- Baalsrud, K., & Baalsrud, K. S. (1954). Studies on Thiobacillus denitrificans. *Archiv fur Mikrobiologie*, 34-62.
- Beller, H. R. et al., 2006. Whole-genome transcriptional analysis of chemolithoautotrophic thiosulfate oxidation. *J. Bacteriol*, Volume 19, pp. 7005-7015.
- Borglin, S. E., Hazen, T. C., & Oldenburg, C. M. (2004). Comparison of Aerobic and Anaerobic Biotreatment of Municipal Solid Waste. *Air and Waste Management Association*, 54, 815-822.
- Burgin, A. J. & Hamilton, S. K., 2007. Have We Overemphasized the Role of Denitrification in Aquatic Ecosystems? A Review of Nitrate Removal Pathways. *Front Ecol Environment*, 2(5), pp. 89-96.
- Camargo, J. A., Alonso, A. & Salamanca, A., 2005. Nitrate toxicity to aquatic animals: a review with new data for freshwater invertebrates. *Chemosphere*, Volume 58, pp. 1255-1267.
- Chester, R., 1990. *Marine Geochemistry*. 1st ed. United Kingdom: Springer Netherlands.
- Chung, J. et al., 2014. Autotrophic denitrification of nitrate and nitrite using thiosulfate as an electron donor. *Water Res.*, Volume 3, p. 169.
- Claus, G., & Kutzner, H. J. (1985). Physiology and kinetics of autotrophic denitrification by Thiobacillus denitrificans. *Applied Microbiology and Biotechnology*, 22(4), 283-288.
- Day, R. A. & Underwood, A. L., 2002. *Analisis Kimia Kuantitatif*. Jakarta: Erlangga.
- Di Capua, F., Pirozzi, F., Lens, P. N. L. & Esposito, G., 2019. Electron donors for autotrophic denitrification. *Chemical Engineering Journal*.
- DeNovix Inc. Brosur, 2017. *OD600 Measurements*, Wilmington: DeNovix Inc..

- Effendi, H., 2000. *Telaah Kualitas Air Bagi Pengelolaan Sumberdaya dan Lingkungan Perairan*. Yogyakarta: Kanisius.
- Esoy, A., Odegaard, H. & Bentzen, G., 1998. The effect of sulphide and organic matter on the nitrification activity in biofilm process. *Water Science Technology*, 1(37), pp. 115-122.
- Gabriel, B., 1994. *Wastewater Microbiology*. New York: A John Wiley & Sons, Inc.
- Hastuti, Y. P., 2011. Nitrifikasi dan Denitrifikasi di Tambak. *Jurnal Akuakultur Indonesia*, 1(10), pp. 89-98.
- Herlambang, A. & Marsidi, R., 2003. *Proses Denitrifikasi dengan Sistem Biofilter untuk Pengolahan Air Limbah yang Mengandung Nitrat*. Jakarta: Badan Pengkajian dan Penerapan Teknologi.
- Herold, M. B., baggs, E. M. & Daniell, T. J., 2012. Fungal and Bacterial Denitrification Are Differently Affected by Long-term pH Amendment and Cultivation of Arable Soil. *Soil Biology & Biochemistry*, Volume 54, pp. 25-35.
- Hutagalung, H. P. & Rozak, A., 1997. *Penentuan Kadar Nitrat*. Jakarta: Pusat Penelitian dan Pengembangan Oceanologi, LIPI.
- Ibrahim, B., Erungan, A. C. & Sari, N. D., 2009. Rasio COD/NO₃ pada Parameter Biokinetika Proses Denitrifikasi Limbah Cair Industri Perikanan dengan Lumpr Aktif. *Jurnal Sumberdaya Perairan*, 3(1), pp. 13-19.
- Kirchman, D. L., 2000. *Microbial Ecology of Ocean*. New York: Wiley-Liss. A John and Sons, Inc.
- Lenz, M. & Lens, P. N. I., 2009. The Essential Toxin: he Changing Perception of Selenium in Environmental Sciences. *Science of The Total Environment*, Volume 407, pp. 3620-3633.
- Mangkoedihardjo, S., 2003. Uji Ekotoksitas Mikrobial untuk Penentuan Beban Volumetrik Suatu Parameter Mutu

- dalam Pengolahan Mikrobial Air dan Limbah. *Jurnal Purifikasi*, 4(No. 2), pp. 61-66.
- Mangkoedihardjo, S., 2006. Biodegradability Improvement of Industrial Wastewater Using Hyacinth. *Journal of Applied Science*, 6(6), pp. 1409-1414.
- Meyers, A., Furtmann, C. & Jose, J., 2018. Direct optical density determination of bacterial cultures in microplates for high-throughput screening applications. *Enzyme and Microbial Technology*, Volume 118, pp. 1-5.
- Monod, J., 1942. *Recherches sur la croissance des cultures bactériennes*. Paris: Hermann and Cie.
- Niu, W., Guo, J., Lian, J., Ngo, H. H., Li, H., Song, Y., . . . Yin, P. (2017). Effect of Fluctuating Hydraulic Retention Time (HRT) on Denitrification in the UASB Reactors. *Biological Engineering Journal*, 1-36.
- Nugroho, R., 2003. Pemanfaatan Mikroba Autotroph dalam Pengolahan Limbah Nitrat Konsentrasi Tinggi. *Jurnal Teknik Lingkungan*, 3(No. 4), pp. 122-127.
- Putri, A. R., Samudro, G. & Handayani, D. S., 2013. Penentuan Rasio BOD/COD Optimal pada Reaktor Aerob, Fakultatif, dan Anaerob. *Jurnal Teknik Lingkungan*, 1(2), pp. 1-5.
- Ratledge, C., 1994. *Biochemistry of Microbial Degradation*. Amsterdam: Kluwer academic Publisher.
- Romano, N. & Zeng, C., 2009. Acute toxicity of sodium nitrate, potassium nitrate, and potassium chloride and their effects on the hemolymph composition and gill structure of early juvenile blue swimmer crabs (*Portunus pelagicus* Linnaeus, decapoda, brachyuran, portunidae). *Environmental Toxicology and Chemistry*, Volume 26, pp. 1955-1962.
- Scott, G. & Crunkilton, R. L., 2000. Acute and chronic toxicity of nitrate to fathead minnows (*Pimephales promelas*, *Ceriodaphnia dubia*, and *Daphnia magna*). *Environ. Toxicol*, Volume 19, pp. 2918-2922.

- Sliekers, A. O. et al., 2002. Completely Autotrophic Nitrogen Removal Over Nitrite in One Single Reactor. *Water Research*, Volume 36, pp. 2475-2482.
- Stachura, D. L., & Traver, D. (2016). Cellular dissection of zebrafish hematopoiesis. *Methods in Cell Biology*, 1-43.
- Sunger, N. & Bose, P., 2009. Autotrophic denitrification using hydrogen generated from metallic iron corrosion. *Bioresour. Technol.*, Volume 100, pp. 4077-4082.
- Supriyati, D. & Agustiyani, D., 2010. Efek Penggunaan Pupuk Organik dan Inokulan Mikroba Terhadap Pertumbuhan Jati Super (*Tectona grandis* L.f) pada Lahan Bekas Tailing Pond Penambangan Emas di Cikotok. *Jurnal Teknik Lingkungan*, 11(3), pp. 363-371.
- Syafila, M., Djajadiningrat, A. H., & Handajani, M. (2003). Kinerja Bioreaktor Hibrid Anaerob dengan Media Batu untuk Pengolahan Air Buangan Mengandung Molase. *Proc. ITB Sains & Tek.* (pp. 19-31). Bandung: Departemen Teknik Lingkungan ITB.
- Teixeira, P. & Oliveira, R., 2002. Metabolism of alcaligenes denitrificans in biofilm vs planktonic cells. *Journal of Applied Microbiology*, Volume 92, pp. 256-260.
- van Bussel, C. S. J. W. S. S. C., 2012. The chronic effect of nitrate on production performance and health status of juvenile turbot (*psetta maxima*). *Aquaculture*, pp. 326-329, 163-167.
- Wang, J. & Chu, L., 2016. Biological nitrate removal from water and wastewater by solid-phase denitrification process. *Biotechnol. Adv*, 34(6), pp. 1103-1112.
- Wang, Z., Wang, H. & Ma, L., 2012. Iron shaving supported biological denitrification in sequencing batch reactor. *Desalin. Water Treat.*, Volume 49, pp. 95-105.
- Wihardjaka, A., 2010. Emisi Gas Dinitrogen Oksida dari Tanah Sawah Tadah Hujan yang Diberi Jerami Padi dan Bahan Penghambat Nitrifikasi. *Jurnal Biologi Indonesia*, 6(2), pp. 211-224.

- Worth, A. P., 2019. *The History of Alternative Test Methods in Toxicology*. Italy: European Commission.
- Wrage, N., Velthof, G. L., Van Beusichem, M. L. & Oenema, O., 2001. Role of Nitrifier Denitrification in the Production of Nitrous Oxide. *Soil Biology & Biochemistry*, Issue 33, pp. 1723-1732.
- Xiang, K. et al., 2016. Selenium Catalyzed Fe (III) - EDTA Reducion by Na_2SO_3 : A Reaction-Contolled Phase Transfer Catalysis. *Short Research and Discussion Article*, 8 February, pp. 62-67.
- Yunita, E. A., Suprpti, N. H. & Hidayat, J., 2009. Pengaruh Ekstrak Teklan (*eupatorium riparium*) terhadap Mortalitas dan Perkembangan Larva *Aedes aegypti*. *Jurnal BIOMA*, pp. Vol. 11, No. 1, Hal. 11-17.
- Zhao, H. W., Mavinic, D. S., Oldham, W. K. & Koch, F. A., 1999. Controlling factor for simultaneous nitrification and denitrification in a two-stage intermittent aeration process treating domestic sewage. *Water Resource*, 4(33), pp. 961-970.
- Zumft, W. G., 1992. *The Denitrifying Prokaryotes*. New York: Springer Verlag.

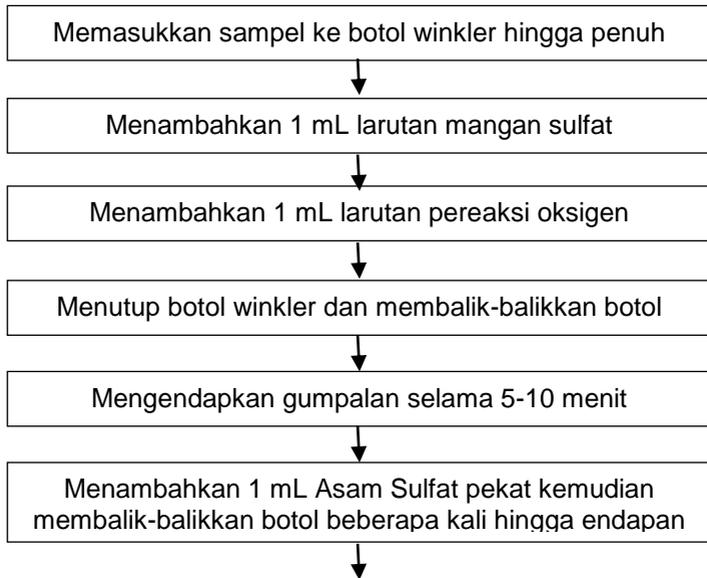
“Halaman ini sengaja dikosongkan”

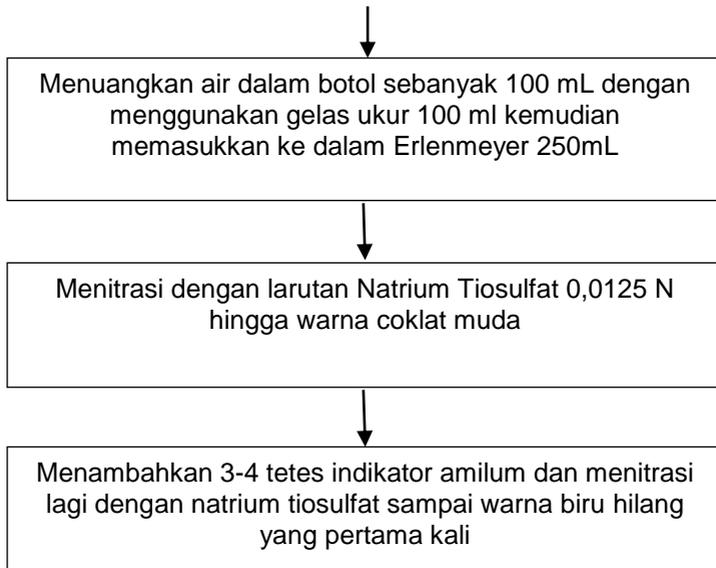
LAMPIRAN 1 ANALISIS DO

A. Alat dan Bahan :

1. Larutan MnSO_4
2. Larutan Alkali-Iodida-Azida atau Larutan Pereaksi Oksigen
3. Indikator Amilum 0,5%
4. Larutan Natrium Tiosulfat 0,0125 N
5. Larutan H_2SO_4
6. Botol winkler 14 buah
7. Buret 25 mL atau 50 mL
8. Pipet 10 mL dan 5 mL
9. Gelas ukur 100 mL 1 buah
10. Erlenmeyer 250 mL 14 buah

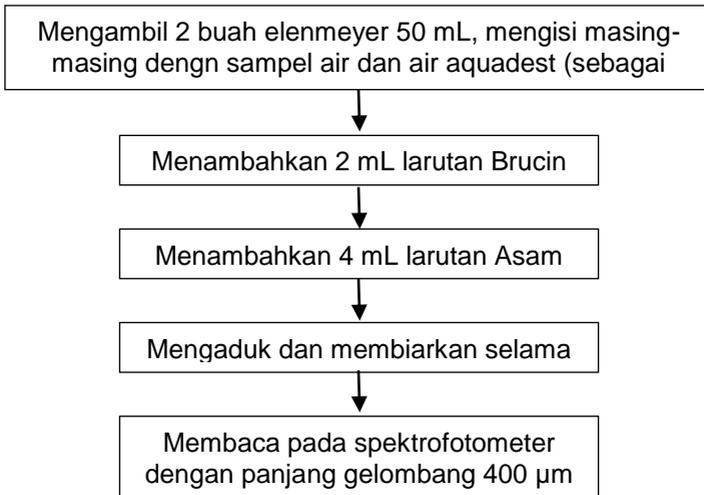
B. Prosedur Percobaan :





LAMPIRAN 2 ANALISIS NITRAT

- A. Alat dan Bahan
1. Larutan Brucin Asetat
 2. Larutan H_2SO_4 pekat
 3. Erlenmeyer 50 mL 2 buah
 4. Spektrofotometer dan kuvet
 5. Pipet 10 mL dan 5 mL
- B. Prosedur Percobaan



“Halaman ini sengaja dikosongkan”

LAMPIRAN 3 ANALISIS KARBONAT

A. Alat dan Bahan

1. Buret
2. Statif
3. Erlenmeyer
4. Pipet Tetes
5. Corong
6. Pro Pipet
7. Pipet Ukur
8. Gelas Beker
9. Sampel
10. Indikator *Phenolphthalein* (PP)
11. Indikator *Methyl Orange* (MO)
12. Larutan HCL 0,1 N

B. Prosedur Percobaan

Sebanyak 25ml sampel diambil dengan menggunakan pipet ukur lalu diletakkan di dalam Erlenmeyer. Sebanyak 3 tetes indikator *phenolphthalein* ditambahkan ke dalam sampel dan diamati perubahan warnanya. Apabila sampel setelah ditambahkan indikator *phenolphthalein* warnanya berubah maka sampel dititrasi dengan HCL 0,1 N hingga warna merah mudanya hilang (volume dicatat sebagai V_1). Apabila larutan yang setelah ditetesi *phenolphthalein* warnanya tidak berubah, maka larutan sampel ditambah indikator *methyl orange* dan dititrasi dengan HCL 0,1 N hingga warna berubah dari kuning menjadi *orange* (volume dicatat sebagai V_2). Percobaan diulangi sebanyak satu kali.

Untuk rumus perhitungan kadar karbonat, dapat menggunakan rumus:

$$\text{Kadar Karbonat} = \frac{V_1 \times N \text{ HCl} \times 6,00(\text{g}/100 \text{ ml})}{V \text{ cuplikan}}$$

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

LAMPIRAN 4 HASIL UJI PARAMETER NITRAT

Hasil perhitungan uji parameter nitrat dapat dilihat pada tabel berikut. Satuan dari parameter nitrat adalah mg/L.

No	Reaktor	Hari ke-1	Hari ke-2	Hari ke-3	Hari ke-4	Hari ke-5	Hari ke-6	Hari ke-7
Tanpa penambahan katalis								
1	Kontrol Autotrof	8,749	8,431	7,516	7,478	0,209	0,065	0,027
2	Kontrol Heterotrof	13,31	12,98	11,54	10,57	3,030	2,962	0,905
3	20mg/L auto non Katalis	0,632	0,632	0,352	0,224	0,126	0,073	0,042
4	40mg/L auto non Katalis	7,039	6,510	1,623	1,003	0,292	0,133	0,095
5	60mg/L auto non Katalis	9,422	9,104	2,493	0,269	0,133	0,103	0,035
6	80mg/L auto non Katalis	10,53	10,03	9,362	8,204	8,189	7,947	7,894
7	100mg/L auto non Katalis	14,78	10,47	8,091	8,068	7,675	7,660	7,523
8	20mg/L hetro non Katalis	6,903	6,321	2,070	1,230	0,965	0,806	0,443
9	40mg/L hetro non Katalis	9,089	8,008	7,705	6,790	2,781	2,319	0,179
10	60mg/L hetro non Katalis	9,997	9,346	8,696	8,605	3,696	1,805	0,141
11	80mg/L hetro non Katalis	11,41	10,51	3,552	3,318	2,357	1,828	0,784
12	100mg/L hetro non Katalis	11,42	10,57	7,932	3,280	3,136	1,472	0,738
Dengan penambahan 1% katalis								
13	20mg/L auto+Katalis	3,825	2,864	1,502	0,912	0,194	0,118	0,005
14	40mg/L auto+Katalis	11,07	10,52	10,32	7,879	2,569	2,357	0,209
15	60mg/L auto+Katalis	11,17	10,26	3,144	2,939	2,818	0,640	0,542
16	80mg/L auto+Katalis	11,07	10,23	3,424	3,083	2,145	0,670	0,466
17	100mg/L auto+Katalis	11,20	10,38	3,325	3,068	2,470	0,549	0,481
18	20mg/L hetro+Katalis	11,28	10,49	3,681	3,098	2,289	1,457	0,716
19	40mg/L hetro+Katalis	11,51	10,57	3,560	3,272	1,714	1,699	0,663
20	60mg/L hetro+Katalis	11,55	10,42	7,947	3,393	3,015	2,826	0,700
21	80mg/L hetro+Katalis	11,55	10,60	4,392	2,864	2,387	1,608	0,859
22	100mg/L hetro+Katalis	11,51	10,49	6,699	2,803	2,682	2,175	0,670

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

LAMPIRAN 5 HASIL PENGUKURAN PH

Hasil pengukuran parameter pH dapat dilihat pada tabel berikut.

No	Reaktor	Hari ke-1	Hari ke-2	Hari ke-3	Hari ke-4	Hari ke-5	Hari ke-6	Hari ke-7
Tanpa penambahan katalis								
1	Kontrol Autotrof	7,63	7,76	8,09	8,28	8	8,48	8,59
2	Kontrol Heterotrof	5,93	5,36	5,59	5,23	5,1	5,17	5,17
3	20mg/L auto non Katalis	7,16	7,68	8	7,76	7,15	8,42	8,44
4	40mg/L auto non Katalis	8,11	8,48	8,39	8,13	7,76	8,52	8,44
5	60mg/L auto non Katalis	7,54	8,07	8,21	8,41	7,78	8,64	8,32
6	80mg/L auto non Katalis	7,56	7,66	8,05	8,11	7,84	8,47	8,65
7	100mg/L auto non Katalis	7,65	7,53	8,02	8,07	7,8	8,88	8,92
8	20mg/L hetro non Katalis	5,9	5,3	5,16	5,01	5	4,25	4,2
9	40mg/L hetro non Katalis	5	4,94	5,1	5,29	4,86	5,22	5,16
10	60mg/L hetro non Katalis	6	5,45	5,45	5,3	5,17	5,58	5,59
11	80mg/L hetro non Katalis	5,98	5,59	5,47	5,37	5,18	5,64	5,72
12	100mg/L hetro non Katalis	5,84	5,8	6,02	5,7	5,15	4,45	4,48
Dengan penambahan 1% katalis								
13	20mg/L auto+Katalis	7,48	7,98	8	7,95	7,54	8,46	8,35
14	40mg/L auto+Katalis	7,83	7,67	7,78	7,82	7,28	8,08	8,88
15	60mg/L auto+Katalis	7,5	7,61	7,83	7,69	7,25	7,9	8,04
16	80mg/L auto+Katalis	7,5	7,84	7,82	7,77	7,3	8,17	8,23
17	100mg/L auto+Katalis	7,56	7,59	8,01	7,66	7,3	7,81	8,21
18	20mg/L hetro+Katalis	5,58	5,28	5,36	5,18	5,15	5,35	5,38
19	40mg/L hetro+Katalis	5,45	4,81	4,95	4,87	4,89	5,44	5,06
20	60mg/L hetro+Katalis	5,96	5,6	5,73	5,19	4,66	4,68	4,92
21	80mg/L hetro+Katalis	6,01	6	5,61	5,49	5,29	5,47	5,25
22	100mg/L hetro+Katalis	5,86	5,84	5,69	5,18	4,71	5,04	5,06

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

LAMPIRAN 6 HASIL PENGUKURAN VOLUME GAS N₂

Hasil pengukuran volume N₂ dapat dilihat pada tabel berikut.

No	Reaktor	Hari ke-1	Hari ke-2	Hari ke-3	Hari ke-4	Hari ke-5	Hari ke-6	Hari ke-7
Tanpa penambahan katalis								
1	Kontrol Autotrof	0	20	50	10	5	5	20
2	Kontrol Heterotrof	0	30	20	30	20	25	25
3	20mg/L auto non Katalis	0	10	0	0	5	75	45
4	40mg/L auto non Katalis	0	10	20	0	30	30	15
5	60mg/L auto non Katalis	0	10	10	10	10	70	20
6	80mg/L auto non Katalis	0	0	0	0	0	0	5
7	100mg/L auto non Katalis	0	10	0	0	5	20	5
8	20mg/L hetro non Katalis	0	0	0	0	0	25	20
9	40mg/L hetro non Katalis	0	0	0	0	0	20	0
10	60mg/L hetro non Katalis	0	0	0	0	0	0	0
11	80mg/L hetro non Katalis	0	0	0	0	0	0	5
12	100mg/L hetro non Katalis	0	0	10	10	10	5	15
Dengan penambahan 1% katalis								
13	20mg/L auto+Katalis	0	0	0	0	0	0	0
14	40mg/L auto+Katalis	0	0	10	0	0	40	20
15	60mg/L auto+Katalis	0	0	0	0	10	40	70
16	80mg/L auto+Katalis	0	0	0	10	5	40	20
17	100mg/L auto+Katalis	0	0	0	0	0	40	50
18	20mg/L hetro+Katalis	0	0	10	0	0	25	20
19	40mg/L hetro+Katalis	0	10	0	0	0	0	5
20	60mg/L hetro+Katalis	0	0	0	0	0	40	30
21	80mg/L hetro+Katalis	0	0	0	0	0	5	30
22	100mg/L hetro+Katalis	0	0	0	5	5	70	20

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

LAMPIRAN 7 HASIL PERHITUNGAN KARBONAT

Hasil pengukuran karbonat dapat dilihat pada tabel berikut.

No	Reaktor	Hari ke-1	Hari ke-2	Hari ke-3	Hari ke-4	Hari ke-5	Hari ke-6	Hari ke-7
Tanpa penambahan katalis								
1	Kontrol Autotrof	0,024	0,024	0,033	0,024	0,03	0,021	0,051
2	20mg/L auto non Katalis	0,0288	0,0288	0,039	0,03	0,03	0,051	0,027
3	40mg/L auto non Katalis	0,09	0,0264	0,027	0,027	0,027	0,033	0,03
4	60mg/L auto non Katalis	0,0336	0,0192	0,042	0,021	0,051	0,036	0,024
5	80mg/L auto non Katalis	0,024	0,0288	0,024	0,03	0,048	0,039	0,021
6	100mg/L auto non Katalis	0,0264	0,0216	0,042	0,036	0,03	0,039	0,018
Dengan penambahan 1% katalis								
7	20mg/L auto+Katalis	0,012	0,0144	0,024	0,027	0,033	0,042	0,033
8	40mg/L auto+Katalis	0,07	0,0192	0,027	0,018	0,045	0,03	0,039
9	60mg/L auto+Katalis	0,012	0,0216	0,039	0,027	0,051	0,051	0,036
10	80mg/L auto+Katalis	0,0216	0,024	0,021	0,03	0,039	0,039	0,03
11	100mg/L auto+Katalis	0,0168	0,0216	0,045	0,039	0,027	0,033	0,027

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

LAMPIRAN 8 HASIL PENGUKURAN *DISSOLVED OXYGEN* (DO)

Hasil pengukuran karbonat dapat dilihat pada tabel berikut.

No	Reaktor	Hari ke-1	Hari ke-2	Hari ke-3	Hari ke-4	Hari ke-5	Hari ke-6	Hari ke-7
Tanpa penambahan katalis								
1	Kontrol Autotrof	1,4	3,9	2,7	3,7	3,2	3,7	4,4
2	Kontrol Heterotrof	1,5	1,7	3,7	4,4	2,7	2	3,5
3	20mg/L auto non Katalis	1,1	1,4	1,8	1,5	1,7	1,1	1,1
4	40mg/L auto non Katalis	1,5	1	3	2,3	2	1,3	1,5
5	60mg/L auto non Katalis	1,7	1,7	2	3	1,8	1,2	1,7
6	80mg/L auto non Katalis	1	1,1	3,1	2,9	3	1	1,3
7	100mg/L auto non Katalis	1,2	1,3	3,7	2	2,76	0,9	0,9
8	20mg/L hetro non Katalis	1,1	0,9	1,4	4,4	4,2	3,5	3,2
9	40mg/L hetro non Katalis	0,9	0,9	3,7	4,4	3,6	3,1	2,9
10	60mg/L hetro non Katalis	0,7	1,7	2	3,5	2,9	2,7	2,5
11	80mg/L hetro non Katalis	1	1,6	1,4	3,9	3,5	3	2,8
12	100mg/L hetro non Katalis	1,2	1	1,5	1,7	1,9	2,1	1,7
Dengan penambahan 1% katalis								
13	20mg/L auto+Katalis	2,6	2,8	2,8	4	2,8	3,6	4,5
14	40mg/L auto+Katalis	2,8	2,9	3,4	4,2	3,8	3,8	3
15	60mg/L auto+Katalis	3,9	1,3	3,7	3,4	3,8	1	1,3
16	80mg/L auto+Katalis	2,1	3,7	3,6	4,5	3,6	4	3,5
17	100mg/L auto+Katalis	2,9	2,5	3,8	3	3,5	2,9	3
18	20mg/L hetro+Katalis	3,7	3,7	4,4	4,3	3,5	3,4	3
19	40mg/L hetro+Katalis	4	3,7	4,3	3,5	3,6	2,9	2,7
20	60mg/L hetro+Katalis	2,9	2,1	2,5	4,2	3,5	3,6	3,5
21	80mg/L hetro+Katalis	1,7	2	3,8	4,3	3,7	1,9	2
22	100mg/L hetro+Katalis	1,6	1,3	3	4,6	3,8	2	2,4

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

BIOGRAFI PENULIS



Penulis memiliki nama lengkap Saili Ngulfia Kholida lahir di Kebumen, 24 April 1997. Penulis menempuh pendidikan sekolah dasar pada tahun 2003-2009 di SDN 1 Purwosari. Kemudian melanjutkan di SMPN 1 Puring pada tahun 2009-2012. Adapun pendidikan tingkat atas dilanjutkan di SMAN 2 Kebumen pada tahun 2012-2015. Penulis kemudian melanjutkan pendidikan S1 di Departemen Teknik Lingkungan, Fakultas Teknik Sipil Lingkungan dan Kebumihan, ITS Surabaya pada tahun 2015.

Selama perkuliahan penulis aktif sebagai peserta dan panitia dalam berbagai kegiatan HMTL dan akademik jurusan. Semasa kuliah, penulis menjabat sebagai pengurus KPPL HMTL FTSLK ITS 2016/2017. Untuk lebih mengasah softskill, penulis juga aktif berorganisasi di organisasi mahasiswa yaitu Badan Eksekutif Mahasiswa sebagai Staf Kementerian Sosial Masyarakat pada periode 2017/2018. Kemudian penulis melanjutkan pada periode 2018/2019 sebagai Asisten Dirjen Lingkungan Hidup Kementerian Sosial Masyarakat. Berbagai pelatihan dan seminar juga telah diikuti oleh penulis dalam rangka mengembangkan kemampuan potensi diri. Penulis dapat dihubungi melalui email di ksailingulfia@gmail.com.

“Halaman ini sengaja dikosongkan”



PROGRAM SARJANA DEPARTEMEN TEKNIK LINGKUNGAN
FAKULTAS TEKNIK SIPIL LINGKUNGAN DAN KEBUMIHAN-ITS
Kampus ITS Sukolilo, Surabaya 60111. Telp: 031-5948886, Fax: 031-6928387

KTA-S1-TL-03 TUGAS AKHIR
Periode: Genap 2018/2019

Kode/SKS : RE141581 (016/0)
No. Revisi: 01

FORMULIR TUGAS AKHIR KTA-02
Formulir Ringkasan dan Saran Dosen Pembimbing
Seminar Kemajuan Tugas Akhir

Hari, tanggal : Senin, 6 Mei 2019
Pukul : 13.00-14.00
Lokasi : TL-105
Judul : Efek Toksisitas Zat Organik Terhadap Efisiensi Denitrifikasi
Nama : Sali Ngulfa Kholida
NRP. : 0321154000047
Topik : Penelitian

Nilai TOEFL : 493

Tanda Tangan

No./Hal.	Ringkasan dan Saran Dosen Pembimbing Seminar Kemajuan Tugas Akhir
	<p><i>Uut. Sarwo Mangkoedihardjo</i></p> <p><i>S.</i> 27/5/19</p>

Dosen Pembimbing akan menyerahkan formulir KTA-02 ke Sekretariat Program Sarjana
Formulir ini harus mahasiswa dibawa saat asistensi kepada Dosen Pembimbing
Formulir dikumpulkan bersama revisi buku setelah mendapat persetujuan Dosen Pembimbing

Berdasarkan hasil evaluasi Dosen Pengarah dan Dosen Pembimbing, dinyatakan mahasiswa tersebut:

1. Dapat melanjutkan ke Tahap Ujian Tugas Akhir
2. Tidak dapat melanjutkan ke Tahap Ujian Tugas Akhir

Dosen Pembimbing
Prof. Dr. Ir. Sarwoko Mangkoedihardjo, MScES



KTA-S1-TL-03 TUGAS AKHIR
Periode: Genap 2018/2019

Kode/SKS : RE141581 (0/6/0)
No. Revisi: 01

FORMULIR TUGAS AKHIR KTA-03
Formulir Pertanyaan dan Saran Dosen Pengarah
Seminar Kemajuan Tugas Akhir

Hari, tanggal : Senin, 6 Mei 2019
Pukul : 13.00-14.00
Lokasi : TL-105
Judul : Efek Toksisitas Zat Organik Terhadap Efisiensi Denitrifikasi
Nama : Naili Ngulfia Kholida
NRP. : 0321154000047
Topik : Penelitian

No./Hal.	Pertanyaan dan Saran Dosen Pengarah Seminar Kemajuan Tugas Akhir
1.	Abstrak diperbaiki. (Abstr Injeksi)
2.	Bab 4 Hasil dan Pembahasan → Isinya masih bercampur dengan metode, Bab 3 metode dan Bab 4 hasil.
3.	Gambar diperbaiki menunjukkan apa masalah penyelesaiannya (4.1 dan 4.2)
4.	Pembahasan 4/Statistik diperbaiki hal 23.
5.	Hal 37 juga tidak perlu dimasukkan (4.3)
6.	Gambar grafik diperbaiki
7.	4.5 dan 4.6 mengapa ditaruh di lampiran, $P+1, N_2$ juga di lampiran ?? → apa tidak mandulanya ?? → diganti.
8.	Saran mengapa bisa dilakukan ??

Ahmed 23/5

Formulir KTA-03 diserahkan kepada Dosen Pembimbing setelah sesi Seminar Kemajuan selesai.
Dosen Pembimbing akan menyerahkan formulir KTA-03 ke Sekretariat Program Sarjana
Formulir ini harus mahasiswa dibawa saat asistensi kepada Dosen Pengarah
Formulir dikumpulkan bersama revisi buku setelah mendapat persetujuan Dosen Pengarah dan Dosen Pembimbing

Dosen Pengarah : IDAA Warmadewanti, ST., MT., PhD

Dosen Pembimbing : Prof. Dr. Ir. Sarwoko Mangkoedihardjo, MScES



PROGRAM SARJANA DEPARTEMEN TEKNIK LINGKUNGAN
FAKULTAS TEKNIK SIPIL LINGKUNGAN DAN KEBUMIHAN-ITS
Kampus ITS Sukolilo, Surabaya 60111. Telp: 031-5948886, Fax: 031-5928387

KTA-S1-TL-03 TUGAS AKHIR
Periode: Genap 2018/2019

Kode/SKS : RE141581 (0/6/0)
No. Revisi: 01

FORMULIR TUGAS AKHIR KTA-03
Formulir Pertanyaan dan Saran Dosen Pengarah
Seminar Kemajuan Tugas Akhir

Hari, tanggal : Senin, 6 Mei 2019
Pukul : 13.00-14.00
Lokasi : TL-105
Judul : Efek Toksisitas Zat Organik Terhadap Efisiensi Denitrifikasi
Nama : Saili Ngulfia Kholida
NRP. : 0321154000047
Topik : Penelitian

No./Hal.	Pertanyaan dan Saran Dosen Pengarah Seminar Kemajuan Tugas Akhir
①	Penulisan ✓
②	Kem pengantar ✓
③	Grafik dibetulkan. → skala legende ✓ unit/satuan
④	Grafik diubah untuk sumbu X nya. → ? Desain reactor diperbaiki → grafik
⑤	Lampiran 1 → matras masukkan di Gub 4.
⑥	knp 48 jam ? ? Bahan syarat ? +
⑦	Bul II → belkmi ?

24/5/2019

Formulir KTA-03 diserahkan kepada Dosen Pembimbing setelah sesi Seminar Kemajuan selesai.
Dosen Pembimbing akan menyerahkan formulir KTA-03 ke Sekretariat Program Sarjana
Formulir ini harus mahasiswa dibawa saat asistensi kepada Dosen Pengarah
Formulir dikumpulkan bersama revisi buku setelah mendapat persetujuan Dosen Pengarah dan Dosen Pembimbing

Dosen Pengarah Harmin Sulistyoning Titah, ST., MT., PhD

Dosen Pembimbing Prof. Dr. Ir. Sarwoko Mangkoedihardjo, MScES



TA-S1-TL-03 TUGAS AKHIR
 Metode: Genap 2018/2019

Kode/SKS : RE141581 (06/0)
 No. Revisi: 01

FORMULIR TUGAS AKHIR KTA-03
 Formulir Pertanyaan dan Saran Dosen Pengarah
 Seminar Kemajuan Tugas Akhir

Hari, tanggal : Senin, 6 Mei 2019
 Pukul : 13.00-14.00
 Lokasi : TL-105
 Judul : Efek Toksisitas Zat Organik Terhadap Efisiensi Denitrifikasi
 Nama : Sali Ngulfa Kholida
 NRP. : 0321154000047
 Topik : Penelitian

No./Hal.	Pertanyaan dan Saran Dosen Pengarah Seminar Kemajuan Tugas Akhir
26	Gbr. 3.2 → tidak ada legenda gambar.
43	Kesimpulan dengan + tanpa katoda ?
	Judul gambar / grafik → tidak perlu judul & dlm gambar grafik.
	Pengeliran H_2 no removal optimum kaitkan dengan lama proses denitrifikasi
	Belajar lebih keras
	daftar ini dll disesuaikan marginnya

[Signature]
 25/05/2019

Formulir KTA-03 diserahkan kepada Dosen Pembimbing setelah sesi Seminar Kemajuan selesai.
 Dosen Pembimbing akan menyerahkan formulir KTA-03 ke Sekrelariat Program Sarjana
 Formulir ini harus mahasiswa dibawa saat asistensi kepada Dosen Pengarah
 Formulir dikumpulkan bersama revisi buku setelah mendapat persetujuan Dosen Pengarah dan Dosen Pembimbing

Dosen Pengarah : Bieby Voijsant Tangahu, ST., MT., PhD
 Dosen Pembimbing : Prof. Dr. Ir. Sarwoko Mangkoedihardjo, MScES

[Signature]
[Signature]



KEGIATAN ASISTENSI TUGAS AKHIR

Nama : Saiti Ngulfia Kholida
NRP : 03211540000047
Judul : Efek Toksisitas zat Organik Terhadap Efisiensi Denitrifikasi

No	Tanggal	Keterangan Kegiatan / Pembahasan	Paraf
1.	5-4-2019	• Menyempurnakan tujuan tugas akhir • menyempurnakan metode penelitian	
2.	25-4-2019	• asistensi hasil uji laboratorium selama 7 hari • mendiskusikan hasil uji parameter	
3.	26-4-2019	• asistensi hasil perhitungan efisiensi proses denitrifikasi	
4.	29-4-2019	• mendiskusikan progres laporan tugas akhir	
5.	30-4-2019	• asistensi draf laporan progres tugas akhir	
6.	21-6-2019	• asistensi revisi laporan progress tugas akhir	
7.	24-6-2019	• Diskusi tentang kaitan pengukuran volume gas N ₂ dengan toksisitas	
8.	28-6-2019	• Asistensi laporan tugas akhir	

Surabaya, 30 April 2019
Dosen Pembimbing



FORMULIR SIDANG UJIAN LISAN TUGAS AKHIR

Saya, yang bertanda tangan di bawah ini :

Nama : Sali Ngulfia Kholida

NRP : 0321154000047

mengajukan permohonan untuk melaksanakan Sidang Ujian Tugas Akhir dengan:

Judul Tugas Akhir : Efek Toksisitas Zat Organik Terhadap Efisiensi
Denitrifikasi

Dosen Pembimbing : Prof. Dr. Ir. Sarwoko Mangkoedihardjo, MScES

Laboratorium : Remediasi Lingkungan

Kategori Tugas Akhir (Pilih salah satu) : Perencanaan / Penelitian / Studi Pustaka

Surabaya, 2 Juli 2019

Menyetujui,
Dosen Pembimbing

Prof. Dr. Ir. Sarwoko Mangkoedihardjo, MScES

Mahasiswa Ybs.

Sali Ngulfia Kholida

*Catatan:

Formulir ini diserahkan ke **Sekretariat Jurusan** dengan menyertakan:

1. Laporan Tugas Akhir (4 eksemplar)
2. Berita Acara Seminar Kemajuan TA (Form KTA-02) yang sudah diparaf penguji
3. Lembar Kegiatan Asistensi (Form FTA-03)
4. Form Perbaikan (Form FTA-04)



PROGRAM SARJANA DEPARTEMEN TEKNIK LINGKUNGAN
FAKULTAS TEKNIK SIPIL LINGKUNGAN DAN KEBUMIHAN - ITS
Kampus ITS Sukolilo, Surabaya 60111. Telp: 031-5948886, Fax: 031-5928387

UTA-S1-TL-02 TUGAS AKHIR
Periode: Genap 2018-2019

Kode/SKS : RE141581 (0/6/0)
No. Revisi: 01

FORMULIR TUGAS AKHIR UTA-02
Formulir Ringkasan dan Saran Dosen Pembimbing
Ujian Tugas Akhir

Hari, tanggal : Rabu, 3 Juli 2019
Pukul : 07.30 - 09.30 WIB
Lokasi : TL-105
Judul : Efek Toksisitas Zat Organik Terhadap Efisiensi Denitrifikasi

Nilai TOEFL 493

Nama : Saifi Ngulila Kholida
NRP. : 0321154000047
Topik : Penelitian

Tanda Tangan

No./Hal.	Ringkasan dan Saran Dosen Pembimbing Ujian Tugas Akhir
	<p>lihat format pengujian ganti judul ↓ toksikitas X → perubahaan</p> <p style="text-align: right;"> 22/7/19</p>

Dosen Pembimbing akan menyerahkan formulir UTA-02 ke Sekretariat Program Sarjana
Formulir ini harus dibawa mahasiswa saat asistansi kepada Dosen Pembimbing
Formulir dikumpulkan bersama revisi buku setelah mendapat persetujuan Dosen Pembimbing

Berdasarkan hasil evaluasi Dosen Penguji dan Dosen Pembimbing, dinyatakan mahasiswa tersebut:

1. Lulus Ujian Tugas Akhir
2. harus mengulang Ujian Tugas Akhir semester berikutnya
3. Tugas Akhir dinyatakan gagal atau harus mengganti Tugas Akhir (lebih dari 2 semester)

Dosen Pembimbing

Prof. Dr. Ir. Sarwoko Mangkoedihardjo, MScES



UTA-S1-TL-03 TUGAS AKHIR
Periode: Genap 2018-2019

Kode/SKS : RE141581 (0/6/0)
No. Revisi: 01

FORMULIR TUGAS AKHIR UTA-03
Formulir Pertanyaan dan Saran Dosen Penguji
Ujian Tugas Akhir

Hari, tanggal : Rabu, 3 Juli 2019
Pukul : 07.30 - 09.30 WIB
Lokasi : TL-105
Judul : Efek Toksisitas Zat Organik Terhadap Efisiensi Denitrifikasi
Nama : Sali Ngulfa Kholida
NRP. : 0321154000047
Topik : Penelitian

No./Hal.	Pertanyaan dan Saran Dosen Penguji Ujian Tugas Akhir
1.	Sumber? di gambar mlay & certakan sumber
2.	Pasalnya tjd autotrof & heterotrof, katabolisme & anabolisme & mekanisme, → reaksi Mekanisme dan penelitian Gdr.
3.	OP & mba d pmm di penelitian sdr?
4.	keparasi sampel di jelaskan fysis mng? suhu & uniani yg di gmaten
5.	Kavit & pematikan → menyampatkan lebih banyak kavit + pematikan kor? → bisa di pindat ke Gdr?
6.	Display grafik? outlet air di sin pmtkan. → buat grafik! yg lebih komperhensif & mudah. Ate 30/19
7.	Penjelasan hasil penelitian sft minim. Hadji-jomari

Formulir UTA-03 diserahkan kepada Dosen Pembimbing setelah sesi Seminar Kemajuan selesai.
Dosen Pembimbing akan menyerahkan formulir UTA-03 ke Sekretaris Program Sarjana
Formulir ini harus mahasiswa dibawa saat asistensi kepada Dosen Penguji
Formulir dikumpulkan bersama revisi buku setelah mendapat persetujuan Dosen Penguji dan Dosen Pembimbing

Dosen Penguji : Abdu Fadli Assomadi, S.Si, MT

Dosen Pembimbing : Prof. Dr. Ir. Sarwoko Mangkoedihardjo, MScES



PROGRAM SARJANA DEPARTEMEN TEKNIK LINGKUNGAN
FAKULTAS TEKNIK SIPIL LINGKUNGAN DAN KEBUMIHAN - ITS
Kampus ITS Sukolilo, Surabaya 60111. Telp: 031-5948886, Fax: 031-5928387

UTA-S1-TL-03 TUGAS AKHIR
Periode: Genap 2018-2019

Kode/SKS : RE141581 (0/6/0)
No. Revisi: 01

FORMULIR TUGAS AKHIR UTA-03
Formulir Pertanyaan dan Saran Dosen Penguji
Ujian Tugas Akhir

Hari, tanggal : Rabu, 3 Juli 2019
Pukul : 07.30 - 09.30 WIB
Lokasi : TL-105
Judul : Efek Toksisitas Zat Organik Terhadap Efisiensi Denitrifikasi

Nama : Saifi Ngulfia Kholida
NRP. : 0321154000047
Topik : Penelitian

No./Hal.	Pertanyaan dan Saran Dosen Penguji Ujian Tugas Akhir
①	Penelitian → grup → hal 34 & 35 serta lainnya. dalam karyanya → hal 37, 40
②	Gambar reactor → perbaiki

27/7/2019
[Signature]

Formulir UTA-03 diserahkan kepada Dosen Pembimbing setelah sesi Seminar Kemajuan selesai.
Dosen Pembimbing akan menyerahkan formulir UTA-03 ke Sekretariat Program Sarjana
Formulir ini harus mahasiswa dibawa saat asistensi kepada Dosen Penguji
Formulir dikumpulkan bersama revisi buku setelah mendapat persetujuan Dosen Penguji dan Dosen Pembimbing

Dosen Penguji Harmin Sulistyanying Titah, ST., MT., PhD

Dosen Pembimbing Prof. Dr. Ir. Sarwoko Mangkoedihardjo, MScES

[Signature]
[Signature]



PROGRAM SARJANA DEPARTEMEN TEKNIK LINGKUNGAN
FAKULTAS TEKNIK SIPIL LINGKUNGAN DAN KEBUMIHAN - ITS
Kampus ITS Sukolilo, Surabaya 60111. Telp: 031-5948886, Fax: 031-5928387

UTA-S1-TL-03 TUGAS AKHIR
Periode: Genap 2018-2019

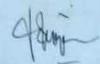
Kode/SKS : RE141581 (0/6/0)
No. Revisi: 01

FORMULIR TUGAS AKHIR UTA-03
Formulir Pertanyaan dan Saran Dosen Penguji
Ujian Tugas Akhir

Hari, tanggal : Rabu, 3 Juli 2019
Pukul : 07.30 - 09.30 WIB
Lokasi : TL-105
Judul : Efek Toksisitas Zat Organik Terhadap Efisiensi Denitrifikasi

Nama : Sali Ngulfa Kholida
NRP. : 03211540000047
Topik : Penelitian

No./Hal.	Pertanyaan dan Saran Dosen Penguji Ujian Tugas Akhir
31.	Penyusunan rumus kimia → diperbaiki. Kajian literatur harus dicantumkan sumbernya. Tidak boleh ada halaman kosong selain akhir buku.
36	through put → di terjemahkan dulu bhs aslinya Gbr. 4.7 → tabel / gambar Penyelson autotrof & heterotrof. Uji statistik untuk deuga & tampa katalis Uji statistik untuk auto & heterotrof.


22/07/2019

Formulir UTA-03 diserahkan kepada Dosen Pembimbing setelah sesi Seminar Kemajuan selesai.
Dosen Pembimbing akan menyerahkan formulir UTA-03 ke Sekretariat Program Sarjana
Formulir ini harus mahasiswa dibawa saat asistensi kepada Dosen Penguji
Formulir dikumpulkan bersama revisi buku setelah mendapat persetujuan Dosen Penguji dan Dosen Pembimbing

Dosen Penguji : Bieby Voijant Tangahu, ST., MT., PhD

Dosen Pembimbing : Prof. Dr. Ir. Sarwoko Mangkoedihardjo, MScES

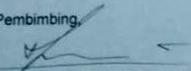


FORMULIR PERBAIKAN LAPORAN TUGAS AKHIR

Nama : Sali Naulfia Kholida
NRP : 0321154000047
Judul Tugas Akhir : Efek Perbedaan Zat Organik Terhadap Efisiensi Denitrifikasi

No	Saran Perbaikan (sesuai Form UTA-02)	Tanggapan / Perbaikan (bila perlu, sebutkan halaman)
1.	Penulisan rumus kimia diperbaiki	- Sudah diperbaiki hal. 7
2.	Kajian literatur harus dicantumkan sumbernya	- sudah dicantumkan dan diperbaiki
3.	Tidak boleh ada halaman kosong selain akhir bab	- halaman kosong sudah diisi /dipenuhi
4.	Tabel dan gambar diperjelas	- tabel dan gambar sudah
5.	Penjelasan autotrof dan heterotrof	- direvisi pada bab 2
6.	Uji statistik hasil analisa	- uji anova ditambahkan di pembahasan
7.	Gambar-gambar digambar ulang dan sertakan sumber	- sudah direvisi pada bab 2
8.	Hasil dan pembahasan menyampaikan lebih banyak	- hasil dan pembahasan sudah ditambahkan
9.	Judul diganti toksisitas menjadi perbedaan	- judul sudah diganti menjadi Efek Perbedaan Zat Organik Terhadap Efisiensi Denitrifikasi
10.	Gambar reaktor diperbaiki	- gambar sudah direvisi

Dosen Pembimbing,


Prof. Dr. Ir. Sarwoko Muntohadiyanto, MScES
NRP. 19540824 198403 1 001

Mahasiswa Ybs,


Sali Naulfia Kholida
NRP. 0321154000047