

**ANALISIS KINERJA PENGOLAHAN LIMBAH CAIR
DOMESTIK DENGAN METODE MBBR**

RUSLI ARDIANSYAH AKBAR

P0302216010



Dosen Pembimbing:

Dr. Ir. M. Farid Samawi, M.Si

Prof. Dr. Ir. Mary Selintung, M.Sc

**PROGRAM STUDI TEKNOLOGI LINGKUNGAN
JURUSAN PENGELOLAAN LINGKUNGAN HIDUP
SEKOLAH PASCASARJANA
UNIVERSITAS HASANUDDIN
MAKASSAR**

2020



LEMBAR PENGESAHAN

TESIS

ANALISIS KINERJA PENGOLAHAN LIMBAH CAIR DOMESTIK DENGAN METODE MBBR


Disusun dan diajukan oleh


RUSLI ARDIANSYAH AKBAR
Nomor Pokok P0302216010

Telah dipertahankan di depan Panitia Ujian Tesis
pada tanggal, September 2020 dan dinyatakan telah memenuhi syarat



Menyetujui,
Komisi Penasehat


Dr. Ir. Muhammad Farid Samawi, M.Si
Ketua


Prof. Dr. Ir. Mary Selitung, M.Sc
Anggota

Ketua Program Studi
Pengelolaan Lingkungan Hidup,



Dr. Ir. Eymal Bahsar Demmallino, M.Si

Dekan Sekolah Pascasarjana
Universitas Hasanuddin,



Prof. Dr. Ir. Jamaluddin Jompa, M.Sc

PERNYATAAN KEASLIAN TESIS

Yang bertanda tangan di bawah ini :

Nama : Rusli Ardiansyah Akbar

Nomor mahasiswa : P0302216010

Program studi : Pengelolaan Lingkungan Hidup

Menyatakan dengan sebenarnya bahwa tesis yang saya tulis ini benar-benar merupakan hasil karya saya sendiri, bukan merupakan pengambil alihan tulisan atau pemikiran orang lain. Apabila dikemudian hari terbukti atau dapat dibuktikan bahwa sebagian atau keseluruhan tesis ini hasil karya orang lain, saya bersedia menerima sanksi atas perbuatan tersebut.

Makassar, Agustus 2020

Yang menyatakan,

A rectangular revenue stamp (Meterai Tempel) with a yellow and green background. The text on the stamp includes "METERAI TEMPEL" at the top, a serial number "D4E27AHF220211037" in the middle, and "6000 ENAM RIBU RUPIAH" at the bottom. A handwritten signature in black ink is written over the right side of the stamp.

RUSLI ARDIANSYAH AKBAR

KATA PENGANTAR

Puji syukur kita panjatkan kehadirat Allah SWT atas segala rahmat dan karunia-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan tesis ini yang berjudul **“Analisis Kinerja Pengolahan Limbah Cair Domestik Dengan Metode MBBR”** sebagai syarat memperoleh gelar Magister di Program Pascasarjana Universitas Hasanuddin Makassar.

Pertama, penulis berterima kasih kepada beberapa pihak yang turut berperan dalam kelancaran penyelesaian tesis ini di antaranya kepada:

1. Kedua orang tua saya yang telah mendoakan. Segala kebaikan untuk mereka, dunia hingga akhirat.
2. Bapak **Dr. Ir. Muhammad Farid Samawi, M.Si** dan **Prof. Dr. Ir. Mary Selintung, M.Sc** selaku pembimbing atas segala masukan saran dan keilmuan. Semoga Tuhan melimpahkan keberkahan dan menjadi amal jariyah.
3. Penguji yang telah meluangkan waktu serta memberikan saran dan mengarahkan penulis dalam perbaikan penulisan tesis, **Bapak Prof. Dr. Akbar Tahir, M.Sc., Bapak Prof. Dr. Ir. Didi Rukmana, M.Si dan Bapak Dr. Ir. Prastawa Budi, M.Sc.**
4. Kepada Istri dan anak-anak beserta keluarga besar atas segala dukungan dan motivasinya dalam penyelesaian tesis ini.
5. Kepada sahabat dan kawan yang turut andil dan tak berkempatan saya



k menulis satu per satu. Terima kasih atas dukungan moril, tenaga, vasi, dan saran-saran dalam penyusunan tesis ini.

Akhirnya, penulis menyadari, tentunya dalam penyusunan tesis ini, masih terdapat banyak kekurangan dan kekhilafan didalamnya. Tidak lain bahwa saya hanyalah manusia biasa yang juga tak pernah luput dari segala kesalahan. Semoga tesis ini turut memberikan sumbangsih dalam dunia keilmuan dan sebagai informasi ilmiah utamanya dalam bidang pengelolaan lingkungan.

Makassar, Agustus 2020



Penulis



Optimized using
trial version
www.balesio.com

ABSTRAK

RUSLI ARDIANSYAH AKBAR. Analisis Kinerja Pengolahan Limbah Cair Domestik Dengan Metode MBBR (dibimbing oleh Farid Samawi dan Mary Selintung)

Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis perubahan nilai parameter TSS, COD, BOD, konsentrasi $\text{NH}_3\text{-N}$, pH, dan suhu pada pengolahan limbah domestik menggunakan system MBBR dan menganalisis pengaruh, kepadatan *Kaldness*, waktu tinggal dan karakteristik *Kaldness* pada pengolahan limbah domestik menggunakan Sistem MBBR.

Pengambilan sampel air limbah domestik dilakukan di Sungai Pampang Sementara percobaan dilakukan di Laboratorium Fakultas Kelautan dan Perikanan. Metode yang digunakan adalah metode pengolahan dengan *Moving Bed Biofilm Reactor* (MBBR)

Hasil penelitian menunjukkan bahwa nilai BOD awal air limbah sebesar 22,5 mg/L menurun menjadi 2,15 mg/L, untuk COD 336 mg/L menurun menjadi 35 mg/L. Untuk nilai Amoniak (NH_3), dari 7,42 mg/L menurun menjadi 0.146 mg/L dan untuk nilai TSS sebesar 36.63 mg/L menjadi 20.24 mg/L. Untuk nilai pH yaitu 7,28– 7,68 dan berada pada suhu 27°C - 29°C . Dari hasil uji pengaruh menggunakan statistik *one way anova* bahwa tidak ada pengaruh signifikan (sig. <0.05) jumlah *Kaldness* K1 terhadap penyisihan parameter air limbah seperti BOD, COD, Amoniak ($\text{NH}_3\text{-N}$) dan TSS namun untuk pH terdapat pengaruh pada ketiga reaktor dengan jumlah penggunaan *Kaldness* . Waktu tinggal hidrolis air limbah didapatkan hasil bahwa semakin lama waktu pengolahan maka semakin tinggi efektivitas pengolahan namun pada pengolahan 6 jam pertama parameter seperti BOD, COD dan TSS telah mampu direduksi hingga dibawah baku mutu yang telah ditetapkan

Kata kunci: Limbah Domestik, MBBR, Sungai Pampang, BOD, COD, TSS



ABSTRACT

RUSLI ARDIANSYAH AKBAR. *Performance Analysis of Domestic Wastewater Treatment Using the MBBR Method* (supervised by **Farid Samawi** and **Mary Selintung**)

This study aims to analyze changes in the parameter values of TSS, COD, BOD, NH₃-N concentration, pH, and temperature in domestic waste treatment using the MBBR system and to analyze the effect, density of *Kaldness*, residence time and characteristics of *Kaldness* on domestic waste treatment using the MBBR system.

Sampling of domestic wastewater was carried out in the Pampang River. Meanwhile the experiment was carried out at the Laboratory of the Faculty of Marine Affairs and Fisheries. The method used is the processing method with the *Moving Bed Biofilm Reactor* (MBBR).

The results showed that the initial BOD value of wastewater was 22.5 mg / L decreased to 2.15 mg / L, for COD of 336 mg / L decreased to 35 mg / L. For the value of ammonia (NH₃), from 7.42 mg / L decreased to 0.146 mg / L and for the TSS value of 36.63 mg / L to 20.24 mg / L, the pH value is 7.28–7.68 and is at a temperature of 27 ° C - 29 ° C. From the results of the effect test using the one way ANOVA statistic that there is no significant effect (sig. <0.05) on the amount of K1 *Kaldness* on the removal of wastewater parameters such as BOD, COD, Ammonia (NH₃-N) and TSS but for pH there is an effect on the three reactors with the amount of use of *Kaldness*. The Hydraulic Retention Time of wastewater shows that the longer the processing time, the higher the effectiveness of the treatment, but in the first 6 hours of processing parameters such as BOD, COD and TSS have been able to be reduced to below the predetermined quality standards.



Is: Domestic waste, MBBR, Pampang River, BOD, COD, TSS

DAFTAR ISI

HALAMAN SAMPUL	i
LEMBAR PENGESAHAN.....	ii
PERNYATAAN KEASLIAN TESIS	iii
KATA PENGANTAR.....	iv
ABSTRAK.....	vi
DAFTAR ISI.....	viii
DAFTAR GAMBAR.....	x
DAFTAR TABEL.....	xi
LAMPIRAN	xii
BAB I. PENDAHULUAN	1
A. Latar Belakang	1
B. Rumusan Masalah.....	3
C. Tujuan Penelitian	3
D. Manfaat Penelitian	4
E. Lingkup Penelitian	4
BAB II. TINJAUAN PUSTAKA	5
A. Limbah Cair Domestik	5
B. Pengolahan Limbah Domestik.....	10
C. <i>Moving Bed Biofilm Reactor</i> (MBBR)	11
D. Kerangka Pikir Penelitian	14
BAB III. METODE PENELITIAN	15
A. Jenis Penelitian	15
B. Lokasi dan Waktu Penelitian	15
C. Rancangan Penelitian	16
D. Populasi dan Sampel.....	16
E. Alat dan Bahan Penelitian	16
F. Jenis dan Sumber Data	18
G. Variabel Penelitian.....	20
H. Prosedur Penelitian	20
Analisis Data.....	23
Survei Penelitian	24
HASIL DAN PEMBAHASAN	25



A. Gambaran Umum Lokasi.....	25
B. Karakteristik Limbah Awal	26
C. Hasil Uji <i>Effluent</i>	27
1. Nilai BOD	27
2. Nilai COD	30
3. Nilai Amoniak (NH ₃)	34
4. Nilai Total Suspended Solid (TSS)	37
5. Nilai pH.....	41
D. Pengaruh Jumlah <i>Kaldness</i> dan Waktu Retensi Pengolahan Terhadap Penyisihan Parameter Air Limbah	43
1. Pengaruh Jumlah <i>Kaldness</i> (Reaktor) Terhadap Penyisihan Parameter Air Limbah	43
2. Pengaruh Waktu Tinggal Hidrolik Terhadap Penyisihan Parameter Air Limbah	45
E. <i>Seeding</i> Dan Aklimatisasi dan Karakteristik MBBR.....	47
BAB V. KESIMPULAN DAN SARAN.....	50
A. Kesimpulan	50
B. Saran	51
DAFTAR PUSTAKA	52
LAMPIRAN	56



DAFTAR GAMBAR

Gambar 1. Proses MBBR Secara Umum (Sumber: Odegaard, Rusten, dan Westrum 1994).....	13
Gambar 2. Reaktor Aerob, Anaerob Anoksik dan <i>Carrier</i>	13
Gambar 3. Kerangka Pikir Penelitian	14
Gambar 4. Lokasi Sampling Air Limbah Domestik.....	15
Gambar 5. Desain MBBR.....	17
Gambar 6. Diagram Alur Penelitian.....	24
Gambar 7. Nilai BOD Masing-Masing Reaktor Terhadap Variasi Waktu	27
Gambar 8. Nilai COD Masing-Masing Reaktor Pada Retensi Waktu Pengolahan Yang Berbeda	30
Gambar 9. Nilai Amoniak (NH ₃) Pada Masing-Masing Reaktor Dengan Waktu Pengolahan Berbeda.....	34
Gambar 10. Nilai TSS Masing-Masing Reaktor Pada Retensi Waktu Pengolahan Berbeda.....	37
Gambar 11. Nilai pH Pada Masing-Masing Reaktor Dengan Waktu Pengolahan Berbeda.....	41



DAFTAR TABEL

Tabel 1. Karakteristik Limbah Cair Domestik	6
Tabel 2. Alat dan Bahan	18
Tabel 3. Tabel Parameter dan Metode Analisa Pengolahan Sampel	19
Tabel 4. Komposisi Dalam Setiap Reaktor Uji	21
Tabel 5. Penelitian MBBR	22
Tabel 6. Nilai Awal Parameter Air Limbah Domestik Sungai Pampang UMI	26
Tabel 7. Uji Pengaruh Jumlah <i>Kaldness</i> Pada Masing-Masing Reaktor Terhadap Penyisihan Parameter Air Limbah	45
Tabel 8. Uji Pengaruh Waktu Pengolahan Terhadap Penyisihan Parameter Air Limbah.....	47



LAMPIRAN

Lampiran 1. Reaktor MBBR	56
Lampiran 2. Proses pengambilan Air Limbah Uji	56
Lampiran 3. Bakteri Aerob Untuk Proses <i>Seeding</i>	57
Lampiran 4. Pengujian Sampel Hasil Pengolahan di Laboratorium Kimia FIKP UNHAS	57
Lampiran 5. Pengaruh Jumlah <i>Kaldness</i> Terhadap Penyisihan Parameter Air Limbah.....	58
Lampiran 6. Pengaruh Waktu Pengamatan Terhadap Penyisihan Parameter Air Limbah.....	69



BAB I. PENDAHULUAN

A. Latar Belakang

Limbah cair domestik merupakan cairan limbah yang berasal dari kegiatan sehari-hari dalam rumah tangga, namun tidak termasuk limbah tinja. Kegiatan yang menghasilkan limbah domestik yaitu mencuci, memasak, mandi, kegiatan pertanian dan peternakan (Dhamar Yudho Aji onesia 2008). Rata-rata konsumsi air setiap individu perhari yaitu 144 liter (Menteri dan Umum 2007), air limbah yang dihasilkan tidak diolah secara khusus melainkan langsung dibuang ke saluran air ataupun ke sungai. Hal tersebut menyebabkan pencemaran ekosistem akuatik seiring dengan pertambahan jumlah penduduk (Schwarzenbach et al. 2010).

Limbah domestik menyebabkan banyak permasalahan di perairan, seperti munculnya bau, meningkatnya kekeruhan air, dan ketidakseimbangan komposisi mikroflora yang diakibatkan oleh kelebihan nutrisi terlarut dalam air. Beban COD (*Chemical Oxygen Demand*) dan BOD (*Biological Oxygen Demand*) meningkat seiring semakin besarnya polutan yang masuk ke dalam perairan, sehingga menyebabkan penurunan DO (*Dissolved Oxygen*) atau oksigen terlarut dalam air, yang sangat dibutuhkan oleh organisme non-fotosintetik yang hidup di berbagai lapisan

(Von Sperling 2015).



Di beberapa daerah di dunia sudah ada pengolahan limbah domestik dengan menggunakan berbagai metode. Cara yang paling umum digunakan yaitu dengan menggunakan optimasi proses metabolisme dengan menggunakan bantuan mikroorganisme dalam suatu instalasi pengolahan air limbah, yang sebelumnya telah dilakukan perlakuan fisik dan kimiawi agar kondisi limbah sesuai dengan kondisi hidup mikroorganisme pengurai. Pada prinsipnya proses pengolahan limbah secara konvensional merupakan pengolahan aerobik dengan menggunakan berbagai jenis mikroorganisme yang mengoksidasi polutan menjadi CO_2 , H_2O , NH_4 dan sel biomassa. Sel biomassa akan mengendap membentuk endapan lumpur aktif yang terdiri dari bakteri, protozoa, virus dan algae yang bekerja sama dalam mengurai polutan yang terlarut dalam limbah (Spellman 2013).

Endapan lumpur aktif yang dihasilkan sangat menentukan proses pengolahan selanjutnya, karena terdiri dari berbagai mikroorganisme yang berperan dalam proses penguraian dan sudah teradaptasi dengan baik pada kondisi limbah. Jumlah organisme di tiap volume juga sangat berpengaruh terhadap kesuksesan pengolahan limbah (Zita dan Hermansson 1997). Sistem pengolahan ini memerlukan suatu instalasi yang membutuhkan biaya dan tempat yang tidak sedikit, sehingga diperlukan adanya suatu metode yang lebih praktis, hemat dan efisien dalam proses pengolahan limbah domestik.

Moving Bed Biofilm Reactor (MBBR) merupakan pilihan teknologi terbaik saat ini untuk menyelesaikan masalah pencemaran perairan oleh limbah cair domestik. Kurang lebih sudah ada 16 negara menggunakan instalasi pengolahan limbah gunakan metode ini (Patel dan Vashi 2013). Lebih kurang ada 90 unit



industri dan limbah perkotaan di Amerika Serikat (Zhao et al. 2015). Pengolahan limbah dengan metode ini menjadi sangat populer karena efisiensi, kapasitas yang besar, dan membutuhkan biaya dan tempat yang relatif kecil. MBBR merupakan proses pengolahan yang berkesinambungan dengan konsentrasi mikroorganisme pengurai yang tinggi tanpa adanya penambahan volume reaktor. Efisiensi tersebut terjadi karena keistimewaan proses aerasi akibat desain carrier sebagai tempat melekatnya biofilm yang bergerak dengan bebas dan menciptakan kondisi aerob dengan sendirinya (Busch, Cruse, dan Marquardt 2007). Hal tersebut menjadi dasar pertanyaan mengenai seberapa efektif pengolahan air limbah dengan metode MBBR diaplikasikan di Indonesia, serta bagaimana kesesuaian proses tersebut dengan mikroorganisme pengurai yang ada di Indonesia.

B. Rumusan Masalah

Bagaimana kinerja metode MBBR dalam pengolahan limbah cair domestik?

C. Tujuan Penelitian

Tujuan penelitian ini antara lain:

1. Menganalisis perubahan nilai perubahan parameter TSS, COD, BOD, konsentrasi $\text{NH}_3\text{-N}$, pH, dan suhu pada pengolahan limbah domestik menggunakan Sistem MBBR.
2. Menganalisis pengaruh, kepadatan *Kaldness*, waktu tinggal dan karakteristik da pengolahan limbah domestik menggunakan sistem MBBR.



D. Manfaat Penelitian

1. Memberikan alternatif pilihan metode pengolahan limbah cair domestik dalam skala lapangan.
2. Memberikan estimasi data penurunan konsentrasi polutan yang spesifik pada limbah domestik.
3. Memberikan pandangan awal untuk pengembangan metode MBBR dalam proses pengolahan limbah cair.

E. Lingkup Penelitian

1. Parameter yang diukur yaitu pH, Suhu, TSS, COD, BOD, dan konsentrasi $\text{NH}_3\text{-N}$.
2. Efektivitas diukur pada alat dalam skala laboratorium.



BAB II. TINJAUAN PUSTAKA

A. limbah Cair Domestik

Air limbah merupakan sisa air yang aktivitas manusia yang dapat mengandung zat tersuspensi dan zat terlarut. Air limbah biasanya sulit diolah karena mengandung berbagai zat organik, minyak atau lemak, dan logam berat. (Metcalf dan Eddy 1991). Berdasarkan Peraturan Menteri Lingkungan Hidup dan Kehutanan Nomor P. 68 Tahun 2016 tentang Baku Mutu Air Limbah Domestik, air limbah domestik dapat didefinisikan sebagai air limbah yang berasal dari usaha dan atau kegiatan permukiman, rumah makan, perkantoran, lembaga pendidikan, pelayanan kesehatan perniagaan, apartemen, pasar, rumah makan, balai pertemuan, arena rekreasi, permukiman, industri, IPAL kawasan, IPAL permukiman, IPAL perkotaan, pelabuhan, bandara, stasiun kereta api, terminal dan lembaga pemasyarakatan. Pencemar pada limbah domestik biasanya bersifat organobiologis, yang berupa padatan tersuspensi berukuran besar atau sedang seperti *feces* dan sisa makanan, koloid atau larutan seperti urin, dan senyawa kimia seperti sabun dan deterjen. Dirangkum dalam Abbassi dan Al-Baz (2008), limbah cair domestik dibagi menjadi empat jenis, yaitu:

1. **Grey Water** merupakan air limbah yang berasal dari proses kegiatan dari dapur, kamar mandi, *laundry*, tanpa feces dan urin.
2. **Black Water** merupakan air limbah yang berasal dari proses kegiatan pembilasan toilet (*feces* dan urin dengan pembilasan)



3. **Yellow Water** merupakan air limbah yang berasal dari toilet khusus urin (tanpa atau dengan air pembilasan).
4. **Brown Water** merupakan air limbah *black water* tanpa urin atau *yellow water*.

Tabel 1. Karakteristik Limbah Cair Domestik

No	Parameter	Limbah cair domestik
1	BOD	100-300 mg/l
2	COD	160-300 mg/l
3	Total solid	200-1000 mg/l
4	Suspended solid	100-500 mg/l
5	Dissolve solid	100-500 mg/l
6	Total Nitrogen	5-86 mg/l
7	Phosphor total	2-10 mg/l
8	Logam berat	0 mg/l
9	Minyak dan lemak	0-40 mg/l

Sumber : (Wisjnuprpto 2007)

Limbah cair domestik dapat berperan sebagai vektor penyakit, bersifat korosif pada bangunan, dan merusak keseimbangan ekosistem perairan. Nilai estetika dari ekosistem perairan dan ekosistem sekitarnya dapat menurun akibat pencemaran yang terjadi oleh limbah cair domestik (G.S.Sodhi 2015). Zat-zat yang terkandung dalam cairan limbah domestik yaitu materi organik tersuspensi maupun terlarut seperti protein, karbohidrat, lemak dan unsur anorganik seperti garam dan logam berat (Kodoatie 2010).



Nutrien yang masuk dalam jumlah berlebih kedalam perairan dapat menimbulkan efek langsung yaitu naik atau turun nya suhu dan pH air, atau akibat tak langsung yaitu turun nya oksigen terlarut karena digunakan mikroorganisme untuk mengurai nutrisi tersebut, kedua akibat tersebut sama-sama mengganggu keseimbangan kehidupan biota air (Water dan Management 2000). Masuknya limbah dengan nilai COD dan BOD di atas 200 mg/L menyebabkan penurunan oksigen terlarut, sehingga organisme seperti bakteri aerob, *crustacea*, dll akan mati, dan perairan didominasi oleh bakteri anaerob. Beberapa jenis bakteri anaerob mengubah nitrit menjadi amonia, sulfat menjadi sulfida yang bersifat toksik bagi makroorganisme. Deterjen yang masuk melalui limbah domestik juga dapat meningkatkan kadar fosfat di perairan yang juga menyebabkan eutrofikasi. Kematian makroorganisme dan *blooming* tumbuhan invasif juga dapat menyebabkan fenomena pendangkalan di perairan diam seperti danau (Edzwald 2011).

Parameter yang biasa diukur untuk mengetahui kualitas suatu perairan meliputi kondisi fisik, kimiawi dan biologis. Parameter yang termasuk kondisi fisik yaitu suhu, masuknya limbah cair ke dalam perairan dapat meningkatkan atau menurunkan suhu lingkungan akuatik. Kondisi suhu yang fluktuatif dapat berpengaruh terhadap organisme yang hidup di dalamnya. Kenaikan suhu di perairan dapat menurunkan konsentrasi oksigen terlarut dan menyebabkan konsumsi oksigen oleh mikroorganisme semakin tinggi. Hal tersebut menyebabkan makroorganisme seperti ikan kekurangan suplai oksigen dan akhirnya mati, karena tidak mampu memenuhi kebutuhan metabolismenya (Hendricks 2016).



Parameter selanjutnya yaitu derajat keasaman (pH), merupakan nilai dari aktivitas ion Hidrogen dalam air. pH di perairan menunjukkan nilai keasaman dan kebasaan lingkungan perairan tersebut, semakin rendah maka semakin asam, dan sebaliknya semakin tinggi nilai pH maka semakin basa. Tiap parameter memiliki keterkaitan dengan parameter lainnya dan sangat terkait dengan aktivitas biologis yang terjadi di dalam perairan, juga dengan suhu dan parameter lainnya. Kekeruhan juga termasuk kedalam parameter fisik yang biasanya diukur untuk mengetahui kualitas suatu lingkungan perairan.

Detritus dan limbah cair organik yang berasal dari kegiatan pertanian atau kegiatan sehari-hari di rumah tangga berperan sebagai sumber nutrisi bagi bakteri. Mayoritas bakteri mengurai materi organik tersebut dengan menggunakan oksigen, sehingga proses tersebut mengurangi kadar oksigen terlarut dalam air yang sangat penting bagi organisme akuatik lainnya. BOD₅ (*Biochemical Oxygen Demand*) merupakan ukuran dari jumlah oksigen yang dibutuhkan bakteri untuk mengurai materi organik pada kondisi aerob. BOD ditentukan dengan menginkubasi sampel air selama 5 hari, dan mengukur seberapa banyak jumlah oksigen yang hilang akibat dekomposisi oleh bakteri. COD (*Chemical Oxygen Demand*) merupakan nilai total oksigen yang diperlukan untuk mengoksidasi materi organik di dalam air menjadi karbondioksida dan air. Tidak semua materi organik dapat diurai oleh proses biologis, ada pula materi organik yang bersifat *recalcitrant*, sehingga nilai COD selalu lebih besar dari nilai BOD nya (Barnes, K. 1998).

Nitrogen merupakan unsur dengan jumlah paling banyak di atmosfer dan merupakan unsur paling banyak ke empat yang terdapat di dalam sel, sebagai penyusun dan asam nukleat. Di alam nitrogen ditemukan dalam berbagai bentuk,



dalam bentuk tak teroksidasi yaitu gas nitrogen (N_2), ammonia (NH_4^+ , NH_3), nitrogen organik (urea, asam amino, dll.), dan dalam bentuk teroksidasi yaitu Nitrit (NO_2^-), Nitrat (NO_3^-), (N_2O), (NO), dan (NO_2). Siklus nitrogen merupakan siklus biogeokimia yang kompleks, dari bentuk awal yang sulit bereaksi yaitu N_2 menjadi bentuk yang bisa digunakan dalam proses biologis. Siklus Nitrogen melibatkan beberapa proses yaitu:

1. Fiksasi nitrogen, yaitu pengikatan gas nitrogen (N_2) menjadi bentuk organik atau terikat dengan senyawa lain sehingga dapat digunakan secara langsung oleh organisme. Fiksasi nitrogen biasanya terjadi oleh proses biologis misalnya fiksasi oleh *Rhizobium* atau *Azotobacter*.
2. Nitrifikasi, perubahan ammonia ke dalam bentuk nitrit, nitrit dapat digunakan oleh tumbuhan secara langsung. Proses tersebut terjadi oleh bakteri nitrifikasi.
3. Assimilasi, pemanfaatan senyawa nitrogen secara langsung oleh organisme yang digunakan sebagai penyusun protein.
4. Amonifikasi, merupakan perubahan senyawa organik menjadi senyawa ammonia yang dilakukan oleh mikroba pengurai.
5. Denitrifikasi, perubahan nitrat menjadi gas oleh bakteri denitrifikasi dalam kondisi anaerob.
6. Dissimilasi nitrat menjadi amonia, respirasi anaerobik yang melibatkan nitrat sebagai penerima elektron dan menghasilkan amonia.

Masalah lingkungan yang diakibatkan oleh pencemaran ammonia ke perairan berdampak besar, yaitu menurunnya oksigen terlarut, keracunan, eutrofikasi, dan menurunnya nilai estetika disebabkan bau tak sedap di perairan (Bertino 2010).



B. Pengolahan Limbah Domestik

Sistem pembuangan limbah domestik yang umum digunakan masyarakat saat ini yaitu pengaliran limbah toilet ke dalam tangki septik selanjutnya diresapkan ke dalam tanah atau dibuang ke sungai atau saluran air. Limbah non toilet seperti mandi, cuci dan buangan dapur dibuang langsung ke saluran umum, jumlah penduduk yang semakin padat menyebabkan pencemaran yang semakin tinggi (Erni et al. 2011). Proses pengolahan limbah konvensional melibatkan proses fisik, kimiawi dan biologis. Proses biologis merupakan cara pengolahan yang efektif dalam penghematan biaya, energi, dan penggunaan zat kimia. Misalnya, *Biological Nutrient Removal* (BNR) yang merupakan pendekatan yang baru-baru ini muncul sebagai sistem pengolahan limbah. Pada prosesnya BNR melibatkan modifikasi sistem biologis, sehingga mikroorganisme dapat bekerja lebih efektif dalam mengurai polutan. IFAS (*Intergrated Fixed-film Activated Sludge*), MBBR, dan MBR (*Membrane Bio-Reactor*) merupakan contoh dari hasil modifikasi untuk mengoptimasi proses pengolahan limbah dengan proses biologis. (Leyva-Díaz et al. 2013).

Sistem pengolahan limbah dengan lumpur aktif konvensional membutuhkan bak pengendapan, bak aerasi, dan bak pengendapan sekunder. Setelah melalui kolam pengendapan primer, limbah dialirkan ke dalam bak aerasi dengan waktu tinggal setidaknya enam jam, agar bakteri memiliki cukup waktu untuk tumbuh dan mengurai polutan di dalam limbah. Selanjutnya limbah dilalukan kedalam bak pengendapan sekunder, di dalamnya terjadi pengendapan lumpur aktif yang akan dikembalikan ke dalam bak aerasi, sedangkan limbahnya dilanjutkan kedalam proses pengolahan tersier.

Sistem konvensional merupakan sistem yang banyak digunakan, namun akan banyak lahan jika dibandingkan dengan sistem pengolahan limbah



lainnya. Sistem pengolahan bioreaktor dengan membran, merupakan sistem yang hampir sama dengan sistem konvensional, yang juga menggunakan bak aerasi untuk pertumbuhan mikroba. Pada sistem ini ditambahkan bak dengan membran yang telah tersusun di dalamnya, sehingga proses pengolahan dengan sistem, MBR mampu menghasilkan air dengan kualitas yang lebih baik dibandingkan dengan sistem konvensional. Tidak diperlukan kolam pengendapan primer dan sekunder pada proses ini, karena limbah telah melalui proses filtrasi dengan menggunakan membran, selanjutnya dinamakan dengan ultra filtrasi (Bahadori dan Smith 2016). Proses ini memisahkan polutan tersuspensi dengan air. Membran dengan kemampuan ultra filtrasi harus dibersihkan secara berkala dan sangat rentan karena melibatkan tekanan yang tinggi. Penyaringan setelah kolam aerasi sebelum memasuki filter ultra filtrasi harus dilakukan untuk menjaga kualitas membran. Pengolahan dengan menggunakan sistem ini memerlukan tempat yang relatif lebih kecil (Anderson 2003).

C. Moving Bed Biofilm Reactor (MBBR)

Sistem MBBR merupakan pengolahan limbah berbasis bioreaktor yang diisi oleh carrier yang biasanya terbuat dari plastik. Carrier merupakan benda yang menjadi tempat melekatnya biofilm dari berbagai koloni mikroba. Reaktor dalam MBBR dapat beroperasi dalam kondisi aerob maupun anaerob. Pada kondisi aerob proses penguraian materi organik dan nitrifikasi terjadi, sedangkan pada kondisi anaerob proses denitrifikasi. Pada reaktor aerob, sistem sirkulasi dilakukan dengan menggunakan pompa udara, sedangkan pada reaktor anoksik menggunakan mixer yang terendam. Volume carrier

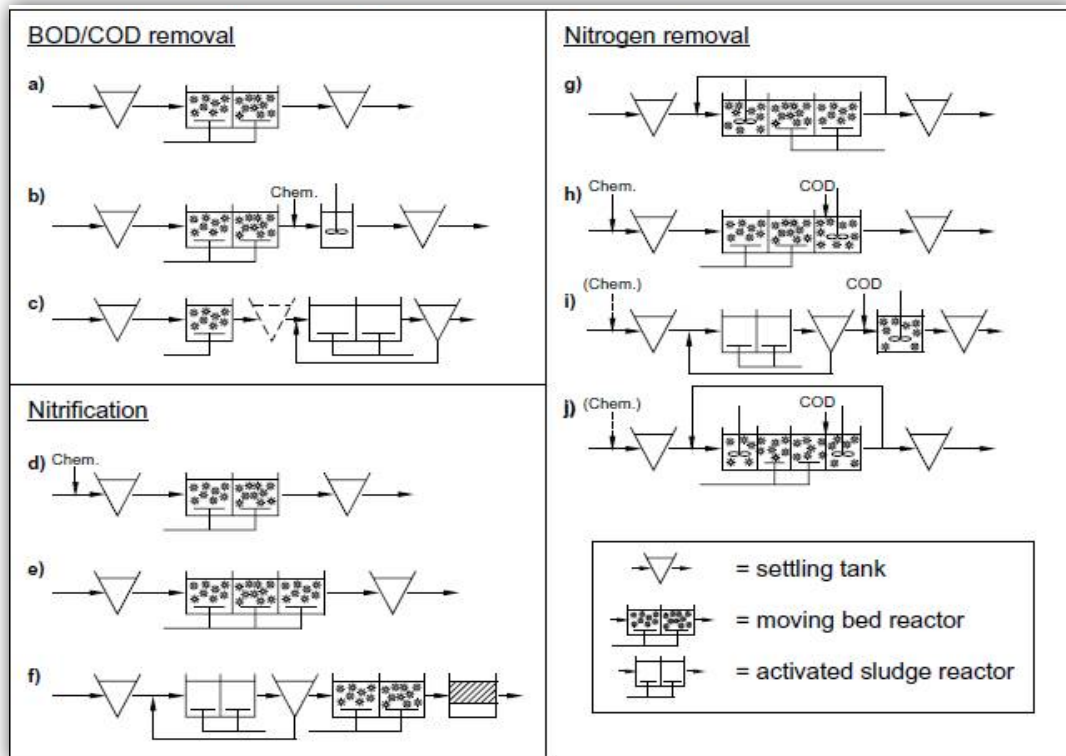
70% dari total volume reaktor (Weiss et al. 2012). Di dalam reaktor



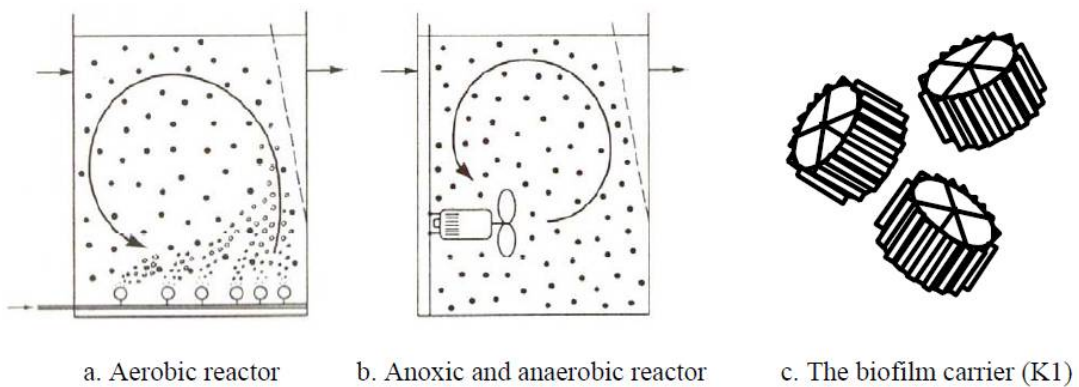
MBBR terdapat “*carrier*” yang berfungsi sebagai tempat melekatnya mikroba pengurai yang membentuk biofilm. *Carrier* tersebut aktif bergerak dan tersuspensi dalam limbah oleh sistem aerasi yang meniupkan udara ke dalam reaktor. *Carrier* menyebabkan semakin besar agitasi yang terjadi juga memperbesar luas permukaan untuk melekatnya biofilm juga penyerapan oksigen. Hal tersebut juga memperpanjang waktu kontak limbah dengan mikroba sehingga proses penguraian lebih efektif baik untuk mengurai bahan organik maupun senyawa nitrogen (Kermani et al. 2008).

Proses aerasi pada sistem MBBR memberikan kondisi aerob pada bakteri di lapisan luar biofilm sehingga proses oksidasi aerob terjadi dengan cepat dan efektif. Mikroba yang mengurai tidak hanya mikroba yang melekat pada *carrier* tetapi juga mikroba yang tersuspensi dalam cairan limbah, yang nantinya akan mengendap dan terpisah menjadi lumpur aktif. Lumpur yang dihasilkan dari proses MBBR 10 kali lebih sedikit dibandingkan sistem pengolahan limbah dengan lumpur aktif (Ahl, Leiknes, dan Ødegaard 2006). Menurut Ahl *et al* (2006), MBBR merupakan sistem pengolahan lumpur aktif dengan *carrier* yang bergerak bebas di dalam reaktor. Hal tersebut menunjukkan bahwa *carrier* sangat berperan penting dalam teknologi MBBR tersebut. Hal tersebut mendorong penelitian tentang *carrier* yang paling efektif sebagai media lekat dari biofilm mikroba pengurai seperti pada Gambar 1.





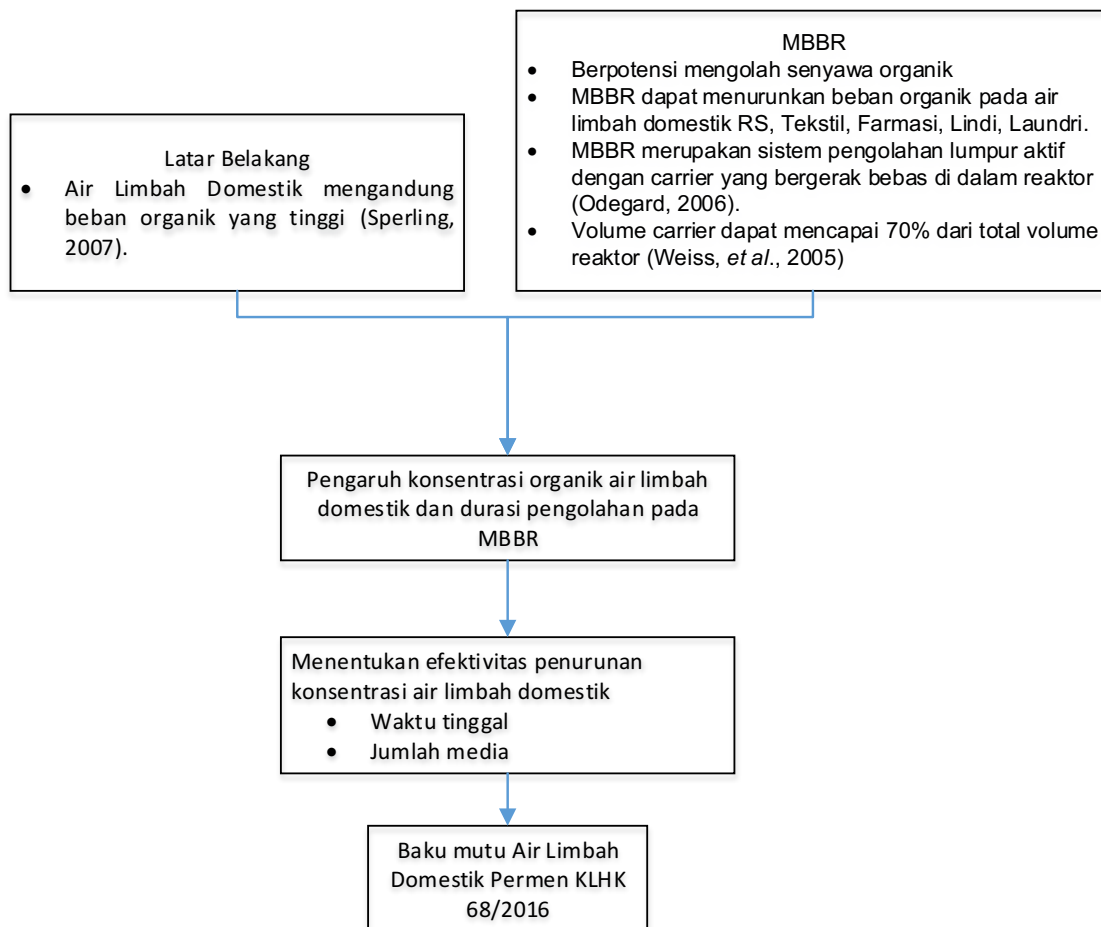
Gambar 1. Proses MBBR Secara Umum (Sumber: (Odegaard, Rusten, dan Westrum 1994)



Gambar 2. Reaktor Aerob, Anaerob Anoksik dan Carrier



D. Kerangka Pikir Penelitian



Gambar 3. Kerangka Pikir Penelitian



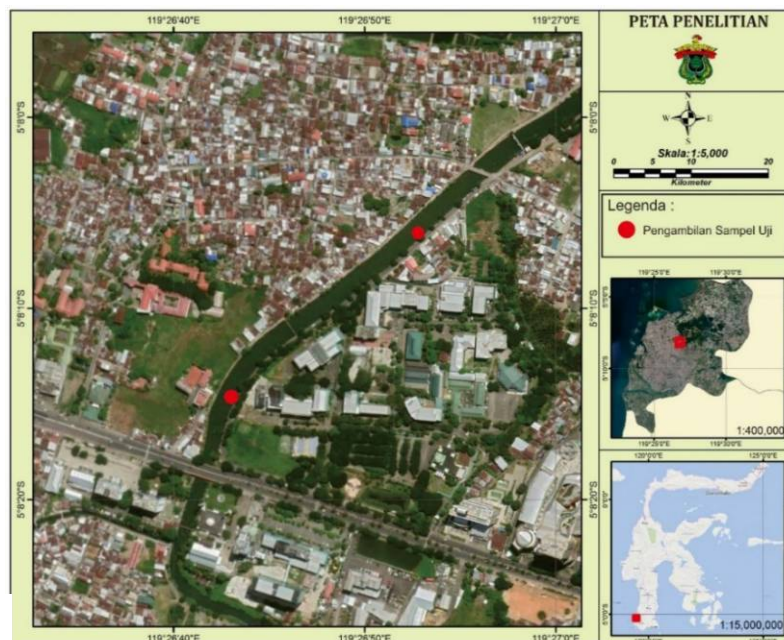
BAB III. METODE PENELITIAN

A. Jenis Penelitian

Jenis penelitian ini termasuk ke dalam proses pengolahan biologis secara aerob dengan Sistem *Attached Growth* (melekat pada media) dan dioperasikan dengan Sistem *Batch*. Reaktor dijalankan dengan kondisi aerobik sesuai varian waktu dan jumlah media yang telah ditentukan. Penelitian ini termasuk ke dalam penelitian eksperimen kuantitatif tentang kemampuan metode MBBR dalam mengurangi konsentrasi polutan organik dalam cairan limbah domestik.

B. Lokasi dan Waktu Penelitian

Penelitian ini dilaksanakan pada bulan Maret sampai Juli 2020, pengambilan sampel air limbah domestik dilakukan di Sungai Pampang (Gambar 4). Sementara percobaan dan sampel air limbah dianalisis di Laboratorium Fakultas Ilmu Kelautan dan Perikanan Universitas Hasanuddin.



Gambar 4. Lokasi Sampling Air Limbah Domestik



C. Rancangan Penelitian

Penelitian ini dilakukan dengan instrumen dalam skala laboratorium. Perbandingan yang diukur yaitu efektivitas metode MBBR yang dibedakan oleh adanya waktu dan jumlah media. Perbedaan tersebut diukur berdasarkan nilai penurunan polutan materi organik yang dilihat dari nilai COD, BOD, TSS, serta $\text{NH}_3\text{-N}$. Pada penelitian ini peneliti berfungsi sebagai pengamat penuh terhadap penelitian yang dilakukan. Peneliti berperan dalam merancang dan membangun alat MBBR, serta menganalisa kadar polutan materi organik yang dilihat dari nilai COD, BOD, TSS dan $\text{NH}_3\text{-N}$ dari limbah.

Perlakuan pada penelitian ini adalah variasi ukuran waktu tinggal air limbah, variasi jumlah media filter.

D. Populasi dan Sampel

Dalam penelitian ini, populasi yang dimaksud adalah limbah domestik di kawasan Kanal Pampang sekitar UMI. Sedangkan sampelnya adalah limbah domestik di daerah Kanal Pampang sekitar UMI baik sebelum diuji maupun setelah melalui eksperimen Sistem MBBR.

E. Alat dan Bahan Penelitian

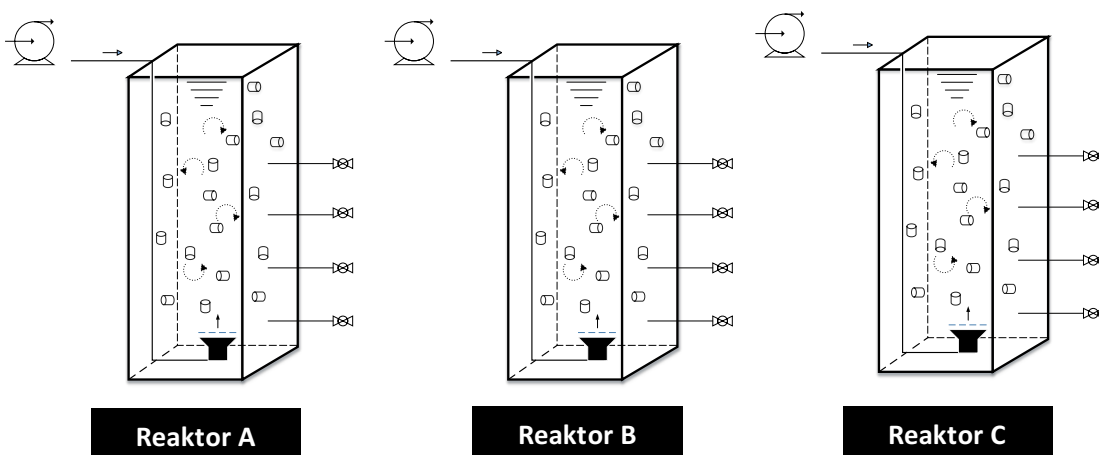
Pada penelitian ini reaktor uji yang digunakan adalah *Moving Bed Biofilm Reactor* (MBBR). MBBR adalah sebuah sistem pengolah air limbah yang terdiri dari tanki aerasi khusus. MBBR merupakan bioreaktor yang terdiri dari reaktor yang



bersifat aerobic, dan di dalamnya terdapat *carrier*. *Carrier* berfungsi sebagai media lekat bagi mikroba pengurai, biasanya *carrier* mengisi 40-70% volume reaktor (Weiss et al. 2012). Proses penelitian ini dijalankan dengan Sistem *batch*. Di dalam Reaktor *Batch*, aliran air yang masuk akan diaduk dengan sempurna kemudian diolah dan dikeluarkan untuk diendapkan (Metcalf dan Eddy 1991). Proses tersebut berlangsung sampai *effluent* air limbah sudah memenuhi baku mutu.

Reaktor menggunakan material fiber glass dan acrylic. Acrylic digunakan sebagai observasi pengamatan visual berlangsungnya proses pengolahan. Volume pengolahan pada reaktor MBBR *batch* adalah 48 L. Media yang digunakan yaitu tipe *Kaldness* (K1). Reaktor MBBR dibuat untuk masing – masing variasi variabel yang berbeda. Pada penelitian ini tidak digunakan reaktor control sebagai reaktor pembanding dengan proses yang terjadi di dalam reaktor uji. Proses aerobik yang terjadi dibuat dengan menyalakan aerator.

Perancangan alat MBBR dilakukan dengan Desain dan Denah MBBR dapat dilihat pada Gambar 4.



Gambar 5. Desain MBBR



Sebelum melakukan uji eksperimen, dilakukan tahap persiapan awal, diantaranya adalah dengan menyiapkan bahan dan alat sebagai berikut:

Tabel 2. Alat dan Bahan

No	Nama Alat / Bahan	Spesifikasi	Jumlah
1.	Kaca <i>Acrylic</i>	<i>Rectangular Acrylic</i> 60 x 35 cm	3 lembar
2.	Fiber Glass	<i>Prisma Square</i> 42 L P: 35 cm, L: 20 cm, T:60 cm	3 Unit
3.	Media Filter	<i>Kaldness</i> K1	76 L
4.	Pompa Aerator	Yasunaga 80L/mnt	1 unit
5.	Starter <i>seeding</i>	Gol. <i>Pseudomonas</i> , <i>Bacillus Lactobacillus</i>	1kg

F. Jenis dan Sumber Data

Sumber data penelitian ini adalah limbah domestik di daerah Sungai Pampang sekitar UMI. Data yang diperoleh berupa data parameter TSS, COD, BOD, konsentrasi $\text{NH}_3\text{-N}$, pH, dan suhu pada limbah kondisi awal dan kondisi akhir setelah melalui eksperimen sistem MBBR.

Pengumpulan data dilakukan dengan pengambilan sampel pada limbah kondisi awal dan akhir, kemudian dilakukan pengukuran nilai COD, BOD, konsentrasi $\text{NH}_3\text{-N}$, pH, dan Suhu. Analisis dari kandungan $\text{NH}_3\text{-N}$ dilakukan dengan menggunakan Metode *Nessler's Reagent Photometry* yang telah terstandarisasi SNI No. 06-6989.9-2004 (BSN, 2004). Analisis COD dan BOD menggunakan metode yang telah terstandarisasi SNI No. 6889-

009). Setiap proses dan pengukuran dilakukan pada 3 (tiga) reaktor,



setiap reaktor mengeluarkan 3 (tiga) outlet *effluent*, dan setiap outlet akan diambil sampelnya sebanyak 3 (tiga) botol kapasitas 600 mL. Dalam setiap pengambilan sampel pada 4 (empat) outlet berdasarkan pada waktu yang telah ditentukan.

Tabel 3. Tabel Parameter dan Metode Analisa Pengolahan Sampel

No.	Parameter	Metode Analisa	Keterangan
1	COD	SNI 6989.2:2009	Metode yang digunakan dalam mengurai bahan organik secara kimiawi dengan nilai COD yakni 40 mg/L hingga 400 mg/L. Metode ini digunakan untuk uji dengan kadar klorida kurang dari 2000 mg/L.
2	BOD	SNI 6989.72:2009	Metode ini digunakan untuk menganalisis jumlah oksigen terlarut (DO) yang dibutuhkan oleh mikroba aerobik untuk melakukan proses oksidasi bahan organik karbon, proses pengujian dilakukan pada kisaran suhu $20^{\circ}\text{C} \pm 1^{\circ}\text{C}$ selama 5 hari \pm 6 jam.
3	NH ₃ -N	SNI 06-6989.30-2005	Metode ini digunakan untuk menganalisis jumlah kandungan amonia menggunakan alat spektrofotometer secara fenat dalam sampel air limbah. Kisaran kadar ammonia yang dianalisis ialah 0,1 mg/L hingga 0,6 mg/L NH ₃ -N dengan panjang gelombang 640 mn.
4	TSS	SNI 06-6989.3-2004	Cara uji ini digunakan untuk menganalisis zat tersuspensi yang ada dalam air limbah dengan proses gravimetri. Analisis ini tidak termasuk penentuan bahan yang mengapung, padatan yang mudah menguap dan dekomposisi garam mineral
5	pH	SNI 06-6989.11-2004	Cara uji ini digunakan untuk menganalisis derajat keasaman (pH) air limbah dengan menggunakan pH meter
6	Suhu	SNI 06-6989.23-2005	Metode ini digunakan untuk menganalisis suhu dalam air limbah dengan menggunakan termometer air raksa.



n Standardisasi Nasional)

G. Variabel Penelitian

Variabel dalam penelitian ini ada 3 jenis, yaitu:

1. Variabel Bebas

Variabel bebas pada penelitian ini adalah

- variasi **Hydraulic Retention Time (HRT)**, yaitu 6 Jam, 12 Jam, dan 24 Jam
- Jumlah *Kaldness*

2. Variabel Terikat

Variabel terikat pada penelitian ini adalah kadar air limbah BOD, COD, TSS dan NH₃-

N.

3. Variabel Kontrol

Variabel kontrol pada penelitian ini adalah sebagai berikut:

- pH Nilai pH operasi dijaga sekitar 7,0 – 8,5.
- Suhu, Temperatur operasi dijaga sekitar 28 – 32° C

H. Prosedur Penelitian

Sebelum melakukan pengujian air limbah, terlebih dahulu melakukan proses *seeding* dan aklimatisasi organisme. Dimana mengisi tiap reaktor dengan jumlah Media *Kaldness* (K1) yang bervariasi dari jumlah volume reaktor. Kemudian melakukan uji sebenarnya dengan variasi jumlah media dan durasi proses. Variasi ini dilakukan untuk menentukan kondisi pengolahan yang paling efektif selama waktu penelitian.

Terdapat 3 reaktor (A,B,C). Masing masing memuat media filter yang berbeda-beda (20%, 40%, 60%). Disetiap reaktor mempunyai 3 outlet (t6, t12,dan t24) untuk



pengambilan sampel. Dalam setiap pengambilan sampel pada outlet berdasarkan jam tertentu. Untuk lebih lengkapnya dapat dilihat dalam Tabel 4.

Tabel 4. Komposisi Dalam Setiap Reaktor Uji

Reaktor 1											
Outlet 1				Outlet2				Outlet 3			
T6 (jam)				T12 (jam)				T24 (jam)			
BOD	COD	TSS	NH3-N	BOD	COD	TSS	NH3-N	BOD	COD	TSS	NH3-N

Reaktor 2											
Outlet 1				Outlet2				Outlet 3			
T6 (jam)				T12 (jam)				T24 (jam)			
BOD	COD	TSS	NH3-N	BOD	COD	TSS	NH3-N	BOD	COD	TSS	NH3-N

Reaktor 3											
Outlet 1				Outlet2				Outlet 3			
T6 (jam)				T12 (jam)				T24 (jam)			
BOD	COD	TSS	NH3-N	BOD	COD	TSS	NH3-N	BOD	COD	TSS	NH3-N

K_{20} berarti bahwa disetiap reaktor bervolume 48 L, terdapat 9 L media filternya (20% *Kaldness*). K_{40} = 40% dari 48 L, K_{60} = 60% dari 48 L. *Range* efektif adalah 40-70%, berdasarkan pengamatan penelitian-penelitian sebelumnya. Adapun penelitian sebelumnya dapat dilihat pada Tabel 5.



Tabel 5. Penelitian MBBR

No	Fokus	Penelitian	Media	Jumlah Media	Volume (Liter)	Aklimatisasi (Hari)	HRT (Jam)	Peneliti	Tahun
1	Laundry	Pengolahan Limbah Laundry Dengan Metode <i>Moving Bed Biofilm Reactor</i> (MBBR)	K1	20%	20	15	6,8,10	Dhimas Aji Kusuma	2019
2		<i>Modification of a Moving Bed Biofilm Reactor (MBBR) due to radically changed process conditions</i>	K150	50%	4 x 10 ⁶		4,8-5,4	Liv May Johansson Macedo	2018
3	Tekstil	<i>Decolourization of remazol black-5 textile dyes using moving bed bio-film reactor</i>	K1	20%	5	-	6, 12, 18, 24	R Pratiwi	2018
4	Laundry	<i>The application of moving bed bio-reactor (MBBR) in commercial laundry wastewater treatment</i>	K5	50%	260	-	10.4, 7.8, 6.24	Slawomira Bering	2018
5	RS	<i>Treatment of Medical Wastewater by Moving Bed Bioreactor System</i>	polyethylene	50%	6.000	-	4,1	Ali Hadi Ghawi, et al	2018
6	Tekstil	<i>Startup of a Partial Nitritation Anammox MBBR and the Implementation of pH-Based Aeration Control</i>	-	32,20%	393.000	94	33	Stephanie Klaus	2017
7	Farmasi	<i>Removal of ozonation products of pharmaceuticals in laboratory Moving Bed Biofilm Reactors (MBBRs)</i>	K5	50%	0,2	-	0,5	Haitham El-taliawy	2017
8	Domestik	Pengolahan Limbah Domestik Menggunakan <i>Moving Bed Biofilm Reactor</i> (MBBR) Dengan Proses Aerobik-Anoksik Untuk Menurunkan Konsentrasi Senyawa Organik dan Nitrogen	K1	20%	5	7	31,5	Ana Anisa	2017
9	Lindi	Pengolahan Lindi Menggunakan <i>Moving Bed Biofilm Reactor</i> dengan Proses Anaerobik Aerobik-Anoksik	K1	20-50%	10	3		Nuriflalail Rio Jusepa dan Welly Herumurti	2016
10	Domestik	Penghilangan Polutan Organik Dan Padatan Tersuspensi Di Dalam Air Limbah Domestik Dengan Proses <i>Moving Bed Biofilm Reactor</i> (MBBR)	Bioball golf/210m ² /m ³	20%	250	14	4,6,8,12	Nusa Idaman Said, et al	2015



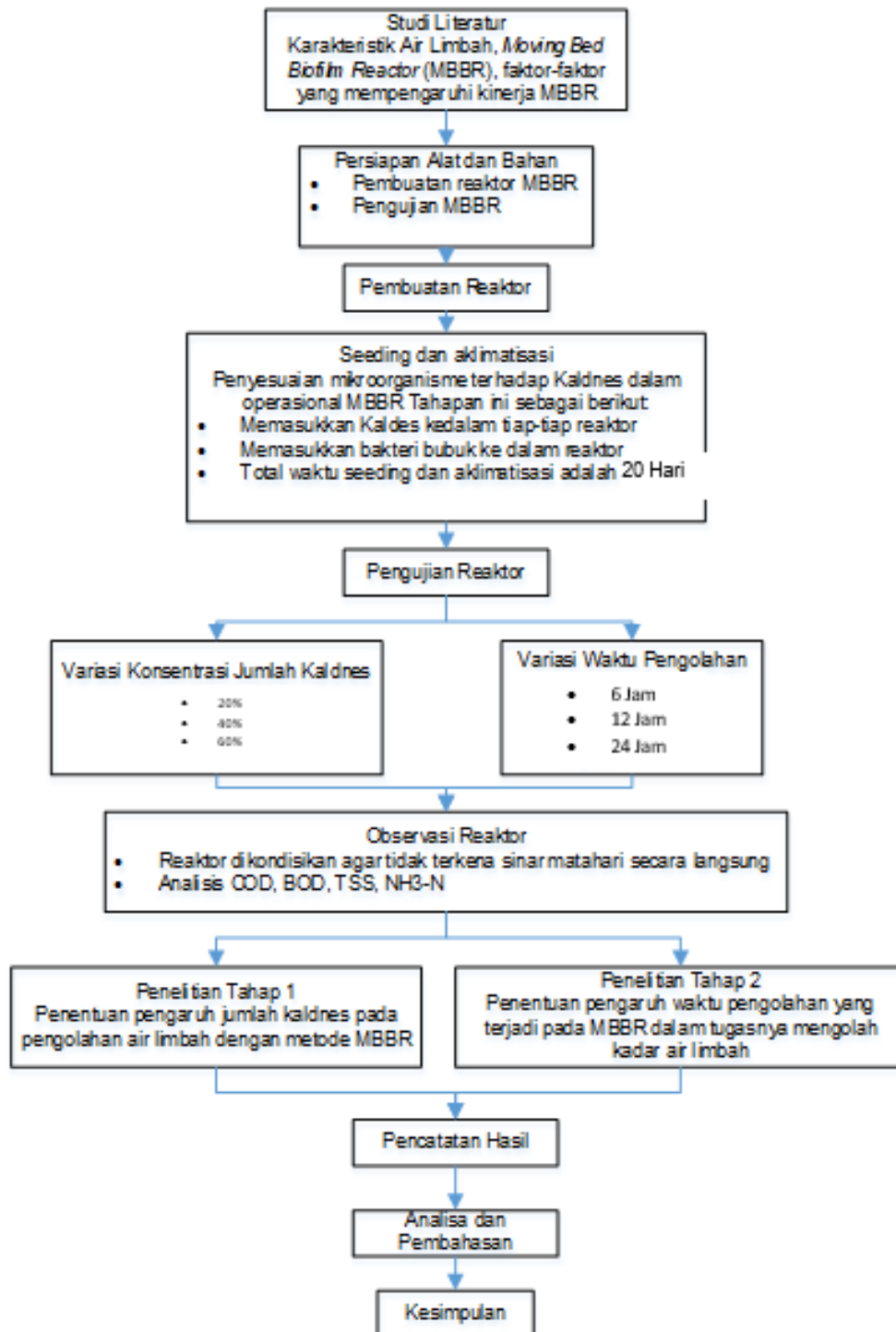
Hal yang sama juga dilakukan memvariasikan waktu proses pengolahan yakni 6 jam, 12 jam dan 24 jam. Penelitian-penelitian yang ada sebelumnya memiliki waktu proses yang berlainan dan bervariasi.

I. Analisis Data

Data yang berupa nilai COD, BOD, konsentrasi $\text{NH}_3\text{-N}$, dan TSS, diolah dengan menggunakan statistika. Selisih kondisi limbah awal dan akhir pada sistem MBBR dan apabila memenuhi syarat uji yaitu data terdistribusi normal dan homogen maka data diolah dengan menggunakan Uji ANOVA.



J. Alur Penelitian



Gambar 6. Diagram Alur Penelitian



BAB IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

A. Gambaran Umum Lokasi

Berdasarkan data Direktorat Jenderal Pembangunan (2009), pembangunan sistem drainase yang terdapat di Kota Makassar dilakukan sejak tahun 1995. Sistem drainase yang ada yakni Saluran Jongaya, Saluran Sinrijala dan Saluran Panampu, Saluran Pembuang Jongaya memiliki dua percabangan yakni Saluran Sinrijala dan Saluran Panampu. Air yang berasal dari Saluran Panampu maupun Saluran Jongaya akan bermuara langsung ke laut, sedangkan air yang berasal dari Saluran Sinrijala bermuara ke Sungai Pampang. Dari ketiga sistem drainase tersebut tidak didesain secara *eco-drain* hal ini mengakibatkan limbah hasil buangan industri maupun rumah tangga langsung masuk ke saluran drainase yang terhubung ke Sungai Pampang.

Desain saluran pembuangan air di Kota Makassar dibuat agar dapat mengalirkan air buangan sebanyak dan secepat mungkin ke tempat pembuangan selanjutnya (Direktorat Jenderal Pembangunan, 2009). Karakteristik air limbah yang masuk ke Sungai Pampang berasal dari limbah domestik seperti kawasan perkantoran, restoran dan rumah makan, kawasan pendidikan, perumahan, pusat perbelanjaan seperti di areal panakkukang yang saluran pembuangannya terkoneksi secara langsung maupun tidak langsung ke Sungai Pampang. Pada areal sepanjang kawasan ini ada beberapa industri dan perkantoran yang telah memiliki pengolahan air limbah domestik namun tidak terlokalisasi seperti pada areal kawasan Industri Makassar, sehingga masih banyak buangan air limbah domestik yang belum diolah yang

ase dan berakhir di Saluran Pembuangan Sungai Pampang.



Berdasarkan data penelitian Hanafi dan Purnama (2012) menunjukkan bahwa pada area stasiun pengamatan di sepanjang Sungai Pampang dan Saluran Pembuangan Sinrijala yang merupakan bagian Sistem Saluran Kota Makassar mengalami pencemaran nutrien pada saat kegiatan sampling yakni Bulan November 2009 dan termasuk pada kategori kondisi air permukaan *eutrophic*.

B. Karakteristik Limbah Awal

Karakteristik awal dari limbah domestik di daerah Kanal Pampang sekitar UMI dilakukan untuk mengetahui seberapa besar kandungan awal sebelum proses pengolahan limbah. Analisa parameter air limbah mengacu pada standar baku mutu air limbah domestik Kementerian Lingkungan Hidup (KLHK) No. 68 Tahun 2016. Kondisi air limbah domestik daerah penelitian memiliki ciri-ciri fisik berbau dan berwarna keruh kehitaman. Namun berdasarkan hasil uji awal air limbah, parameter seperti BOD, pH dan Amoniak (NH_3) masih dalam batas wajar baku mutu yang telah ditetapkan oleh Kementerian Lingkungan Hidup, sedangkan parameter seperti COD dan TSS tidak memenuhi standar baku mutu yang telah ditetapkan. Nilai awal air limbah domestik Sungai Pampang UMI dapat dilihat pada Tabel 6.

Tabel 6. Nilai awal parameter air limbah domestik Sungai Pampang UMI

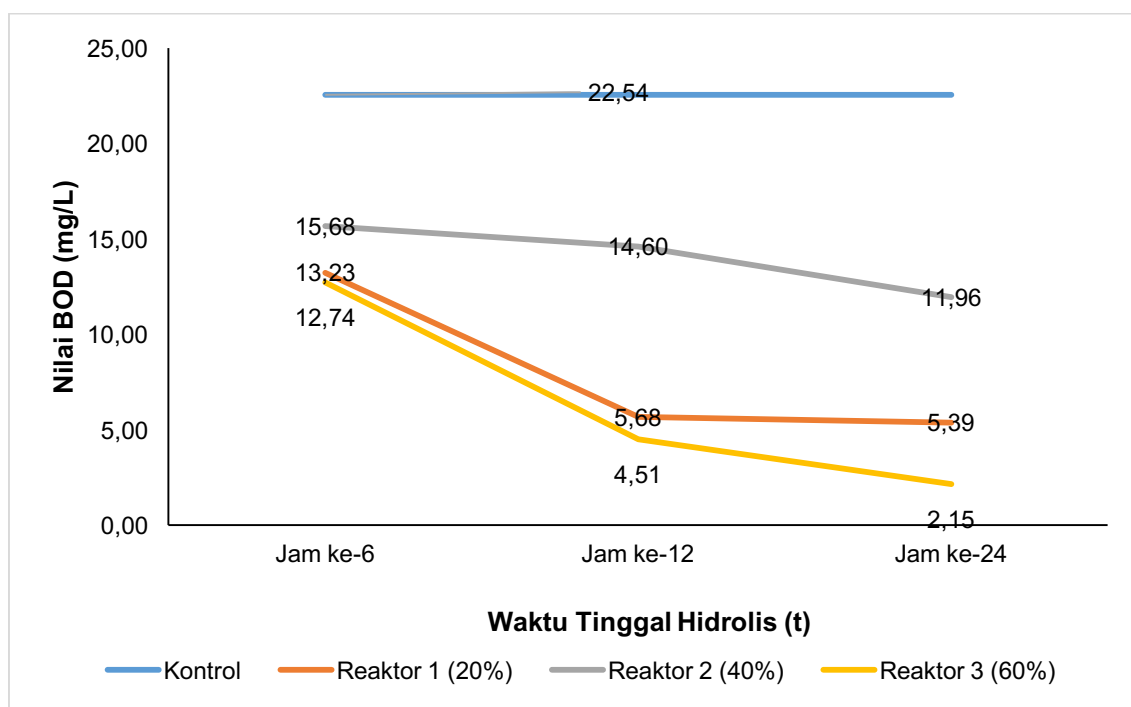
Parameter	Satuan	Hasil	Baku Mutu	Metode Uji
BOD ₅	mg/l	22.54	30	SNI.6989.72.2009
COD	mg/l	336	100	SNI 6989.2.2009
TSS	mg/l	36.63	30	SNI 06-6989.3-2004
Amoniak (NH_3)	mg/l	7.42	10	SNI 06.6989.30-2005
pH	-	7.28	6-9	SNI 06.6989.11-2004



C. Hasil Uji *Effluent*

1. Nilai BOD

Berdasarkan hasil pengukuran nilai BOD *effluent* diperlihatkan pada Gambar 7.



Gambar 7. Nilai BOD masing-masing reaktor terhadap variasi waktu

Dari hasil penelitian terlihat bahwa nilai awal BOD sebelum pengolahan adalah sebesar 22,54 mg/L. Berdasarkan grafik diatas terlihat bahwa ada 3 jenis perlakuan retensi waktu tinggal hidrolis masing-masing reaktor. Dari ketiga perlakuan waktu retensi hidrolisis yakni pada jam ke-6 memiliki tingkat penyisihan BOD yang berbeda. pada jam ke-6 tingkat penyisihan BOD tertinggi yakni pada reaktor 3 dengan jumlah *Kaldness* sebesar 60 %. Penyisihan sebesar 43.46 % atau sebesar 9.80 mg/L. Sedangkan pada reaktor 1 sebesar 41.31 % atau



sebesar 9.31 mg/L dan pada reaktor 2 dengan persentase sebesar 30.44 % atau sebesar 6.86 mg/L.

Pada jam ke-12 pengolahan air limbah, penyisihan BOD tertinggi yakni pada reaktor 3 dengan jumlah *Kaldness* sebesar 60%. Penyisihan BOD 80% atau sebesar 18.3 mg/L. Kemudian pada reaktor 1 (Σ *Kaldness* = 20%) memiliki tingkat degradasi BOD sebesar 74.80 % atau sebesar 16.86 mg/L. Adapun pada reaktor 2 (Σ *Kaldness* = 40 %) tingkat penyisihan sebesar 35 % atau sebesar 7.94 mg/L.

Adapun pada pengamatan 24 jam pengolahan air limbah tingkat penyisihan BOD tertinggi yakni tetap pada reaktor ke-3 (Σ *Kaldness* = 60 %) dengan tingkat penyisihan sebesar 90.46 % atau sebesar 20.39 mg/ L dan tingkat penyisihan terendah yakni pada reaktor 2 (Σ *Kaldness* = 40 %) dengan persentase penyisihan sebesar 46.93 % atau sebesar 10.58 mg/L.

Dari penjelasan diatas, terlihat bahwa waktu penyisihan BOD optimal adalah pada retensi waktu tinggal hidrolis air limbah ke 12 jam dan pada reaktor 3 dengan jumlah *Kaldness* sebanyak 60% dari volume air limbah. Pada jam ke-12 pengolahan sudah mampu menyisihkan BOD sebesar 80 %. Terjadi peningkatan dua kali dari waktu pengolahan 6 jam dan hanya bertambah sebesar 10 % pengolahan pada waktu tinggal hidrolis ke 24 jam.

Dari hasil pengujian kadar (BOD) pada limbah domestik, diperoleh hasil penurunan kadar (BOD) yang berbanding lurus terhadap waktu pengolahan. Pernyataan ini sesuai penelitian yang dilakukan oleh Nurhayati dan Prastianto (2016), dimana waktu pengambilan sampel dilakukan pada hari ke-0, ke-2, ke-4,

); memiliki efektivitas pengolahan kadar BOD masing-masing yaitu



77,14%; 81,65%; 85,79% dan 89,73%. Nilai penurunan kadar (BOD) berbanding lurus terhadap masa inkubasi (waktu degradasi), semakin lama masa pengolahan (waktu degradasi), maka semakin tinggi nilai efektivitasnya. Penelitian lainnya juga dilakukan oleh Rahadi *et al* (2006) bahwa penyisihan kadar BOD₅ kadar pengolahan total pada waktu tinggal 9 jam adalah sebesar 93.59 %.

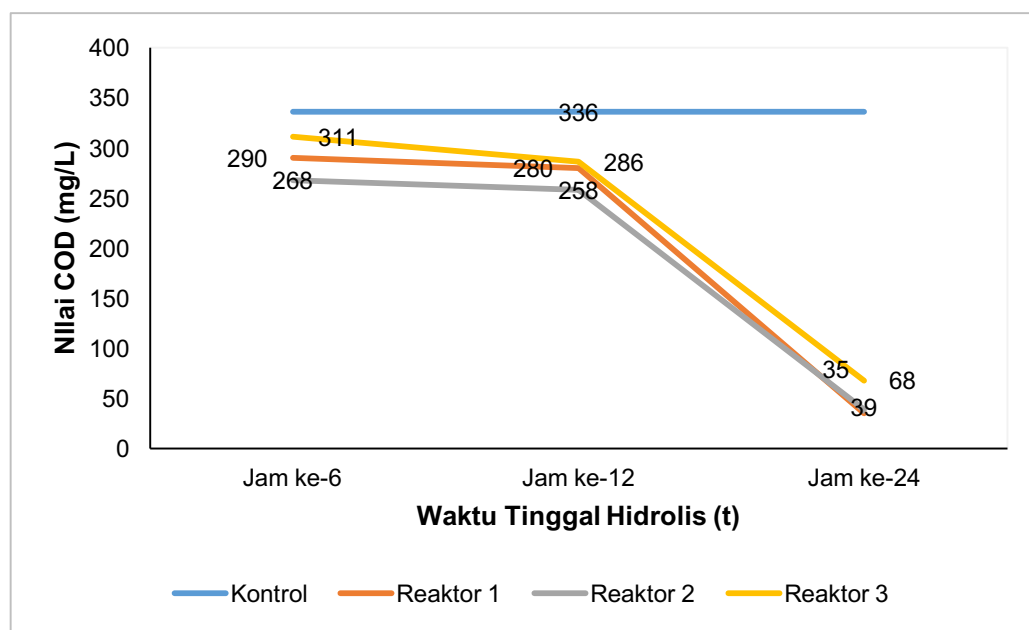
Bila dibandingkan dengan penelitian sejenis yang dilakukan oleh Al Kholif *et al* (2018) dengan durasi waktu yang sama selama 24 Jam terhadap media Kaldness (30%) dan batu apung, reaktor sistem batch (Σ Kaldness = 20%) jauh lebih efektif dimana system oleh Al Kholif *et al* (2018) menyisihkan BOD masing-masing sebesar 62,8 % dan 56,1 %. Dan bila berdasarkan penelitian Filliazati *et al.*, (2013), sistem MBBR juga lebih efektif bila dibandingkan dengan pengolahan menggunakan reaktor biofilter yang hanya dapat menurunkan pencemaran BOD₅ sebesar 43.88 % pada durasi waktu yang sama selama 24 Jam dan menggunakan media bioball efisiensi penyisihan BOD sebesar 68.98 % (Filliazati *et al.*, 2013)

Dari penelitian tersebut, bahwa pada keseluruhan reaktor memiliki tingkat removal yang tinggi. Hal ini terjadi karena pada proses pengolahan aerobik, ketersediaan oksigen pada reaktor yang cukup sehingga memungkinkan bakteri *Nitrosomonas* dan *Nitrobacter* dapat mendegrasi dengan baik. Kemudian hasil perubahan ammonium yang telah menjadi nitrat – nitrogen akan dikonversi menjadi N₂ gas yang dilepas ke atmosfer melalui proses denitrifikasi.



2. Nilai COD

Nilai BOD hasil pengukuran diperlihatkan pada Gambar 8.

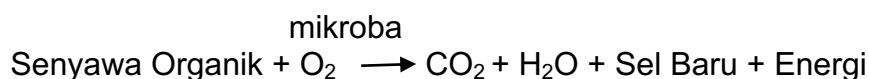


Gambar 8. Nilai COD masing-masing reaktor pada retensi waktu pengolahan yang berbeda

Dari hasil penelitian terlihat bahwa nilai awal COD sebelum pengolahan pada air limbah daerah Sungai Pampang UMI adalah sebesar 336 mg/L. nilai awal COD ini bila mengacu pada standar baku mutu air limbah domestik yang dikeluarkan oleh Kementerian Lingkungan Hidup (KLHK) masih diatas ambang batas yang telah ditetapkan. Dan setelah pengolahan air limbah menggunakan Metode *Moving Bed Biofilm Reactor* (MBBR) secara aerobik terjadi removal COD yang bervariasi berdasarkan jumlah dan waktu retensi pengolahan. Menurut Aryani dan Widiyani (2004) nilai COD akan selalu lebih tinggi dari nilai BOD hal ini dikarenakan bahan organik lebih mudah dioksidasi secara kimiawi daripada secara biologi



Menurut Said dan Santoso (2018), proses penyisihan kandungan COD terjadi dikarenakan mikroorganisme yang hidup di dalam reaktor mengurai zat organik pada air limbah domestik. Udara yang diinjeksikan melalui blower menciptakan suasana aerobik di dalam reaktor sehingga yang bertugas mereduksi zat organik adalah mikroorganisme aerob. Secara umum proses penyisihan COD dapat dilihat pada reaksi berikut:



Zat organik yang reduksi kemudian akan menghasilkan zat-zat yang relatif lebih stabil seperti CO_2 dan H_2O , selain itu akan terbentuk juga biomassa dan energi yang kemudian akan dimanfaatkan untuk proses metabolisme mikroorganisme. Metabolisme yang terjadi oleh mikroorganisme terdiri dari proses katabolisme dan anabolisme. Proses katabolisme yang terjadi adalah proses oksidasi dan respirasi, dimana pada proses ini zat organik yang diurai oleh mikroorganisme menghasilkan energi untuk pertumbuhan bakteri. Sedangkan proses anabolisme terjadi untuk berkembang biak bakteri dengan memanfaatkan energi yang diperoleh dari proses oksidasi dan respirasi.

Injeksi udara yang dilakukan tidak hanya digunakan untuk menambahkan oksigen ke dalam reaktor, tetapi juga digunakan untuk proses pengadukan dengan memanfaatkan turbulensi dari udara. Pengadukan ini berfungsi untuk meratakan zat organik di seluruh volume reaktor sehingga dapat diurai oleh mikroorganisme. Selain itu untuk menjaga agar media tetap bergerak sehingga



kontak antara mikroorganisme yang melekat di media dengan zat organik dalam air limbah semakin sempurna.

Berdasarkan grafik Gambar 8 terlihat bahwa ada 3 jenis perlakuan retensi waktu tinggal hidrolis masing-masing reaktor. Dari ketiga perlakuan waktu retensi hidrolisis yakni pada jam ke-6 memiliki tingkat penyisihan COD yang berbeda. Pada jam ke-6 tingkat penyisihan COD tertinggi yakni pada reaktor 2 dengan jumlah *Kaldness* sebesar 40% dari volume air limbah dan penyisihan COD sebesar 20.23 % atau sebesar 68 mg/L dan pada reaktor 1 (Σ *Kaldness* = 20%) sebesar 13.69 % atau sebesar 46 mg/L. Adapun penyisihan terendah pada pengolahan 6 jam ialah pada reaktor 3 (Σ *Kaldness* = 60%) dengan persentase sebesar 7.44 % atau sebesar 25 mg/L. Dari data tersebut, terlihat bahwa pada retensi waktu pengolahan 6 jam belum memenuhi ambang batas baku mutu COD yang telah ditetapkan.

Adapun pada jam ke-12 pengolahan air limbah, penyisihan COD tertinggi yakni pada reaktor 2 dengan jumlah *Kaldness* sebesar 40%. Dengan penyisihan COD sebesar 23 % atau sebesar 78 mg/L. kemudian pada reaktor 1 (Σ *Kaldness* = 20%) memiliki tingkat degradasi COD sebesar 16.7 % atau sebesar 56 mg/L. Adapun pada reaktor 3 (Σ *Kaldness* = 40 %) tingkat penyisihan sebesar 14.9 % atau sebesar 50 mg/L. Dari data tersebut, terlihat bahwa pada retensi waktu pengolahan 12 jam belum memenuhi ambang batas baku mutu COD yang telah ditetapkan yakni sebesar 100 mg/L.



Sedangkan pada pengolahan air limbah dengan waktu retensi 24 jam penyisihan COD sangat tinggi pada ketiga jenis reaktor. Pada reaktor 1 (Σ

Kaldness = 20%) memiliki tingkat penyisihan COD tertinggi yakni sebesar 89.6 % atau sebesar 301 mg/L. pada reaktor 2 (Σ *Kaldness* = 40%) tingkat penyisihan hamper sama dengan reaktor 1 dengan persentase 88.39 % atau sebesar 297 mg/L. adapun pada reaktor 3 (Σ *Kaldness* = 60%) tingkat penyisihan COD juga sangat tinggi dengan persentase sebanyak 79.76% atau sebesar 268 mg/ L. Dari grafik diatas, terlihat bahwa waktu retensi pengolahan 24 jam sangat efektif mendegradasi kandungan COD dalam air limbah. Hal ini dikarenakan ketiga reaktor mendapat suplai oksigen yang cukup dari proses aerasi dan ikut merombak kandungan bahan organik. Hal ini sesuai dengan pernyataan setyowati (2000) bahwa penurunan COD cukup tinggi pada pengolahan air limbah dengan proses aerob pada 24 jam pengolahan.

Menurut penelitian Said dan Santoso (2018) bahwa luas permukaan media *Kaldness* (K1) yang cukup besar sehingga cukup tersedia untuk melekatnya bakteri aerob ($\pm 500 \text{ m}^2/\text{m}^3$). Perbandingan volume media yang kecil dibandingkan dengan volume air reaktor akan menyebabkan proses gerakan random atau turbulensi antar media yang terkena aerasi sehingga media akan terus mengalami rotasi dan pergerakan dan akan meningkatkan efektivitas pengolahan COD sebesar 87 %.

Bila dibandingkan dengan penelitian Yazid dan Samudro, (2008) menyatakan bahwa penurunan konsentrasi pada limbah cair domestik dengan menggunakan reaktor biofilter anaerobik media arang tempurung kelapa efesiensinya sebesar 62,22%, sedangkan media krikil sebesar 44,22%.

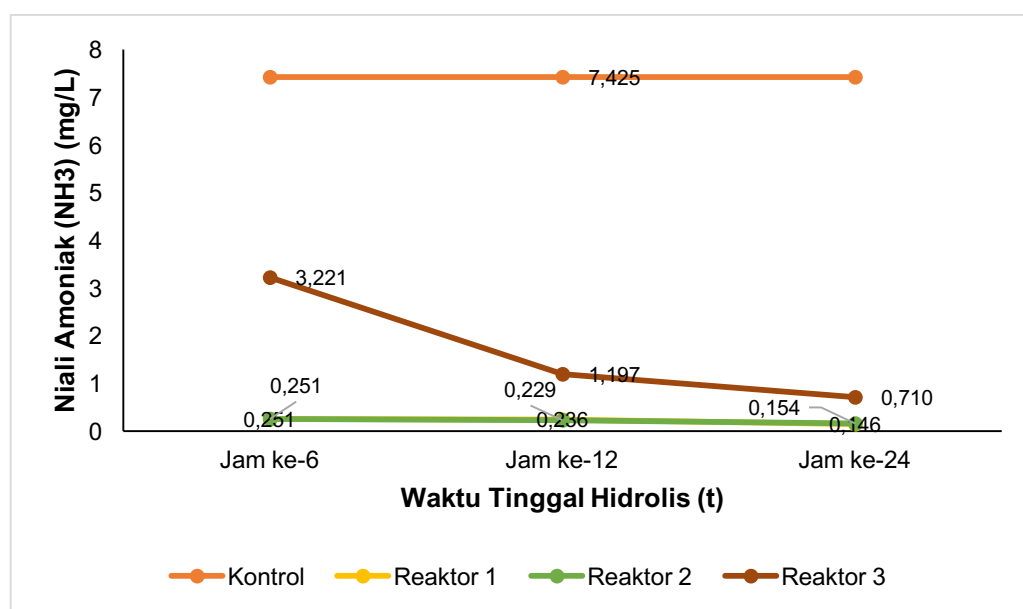


... gan penelitian lain pada metode reaktor *Upflow Anaerobic Sludge*

Blanket (UASB) Couto et al. (2015) efisiensi penyisihan COD sebesar 64 % dan penelitian Hernández Leal et al. (2011), pada reaktor anaerob nilai penyisihan sebesar 70 %. Dari beberapa penelitian tersebut menunjukkan bahwa penurunan beban pencemar COD lebih efektif menggunakan pengolahan MBBR dengan media *Kaldness*.

3. Nilai Amoniak (NH₃)

Hasil pengukuran Kadar Amoniak dari pengolahan diperlihatkan pada Gambar 9.



Gambar 9. Nilai Amoniak (NH₃) pada masing-masing reaktor dengan waktu pengolahan berbeda

Dari hasil penelitian, Nilai Awal Amoniak sebelum sebelum proses pengolahan adalah sebesar 7.425 mg/L. Nilai Awal Amoniak air limbah ini bila mengacu pada standar baku mutu air limbah domestik No. 68 Tahun 2016 yang n oleh kementerian lingkungan hidup (KLHK) masih tergolong dibawah



batas baku mutu yang telah ditetapkan. Namun setelah melalui proses pengolahan air limbah menggunakan Metode *Moving Bed Biofilm Reactor* (MBBR) secara aerobik terjadi removal amoniak (NH_3) yang bervariasi berdasarkan jumlah dan waktu retensi pengolahan.

Dari grafik diatas terlihat bahwa terdapat 3 jenis perlakuan retensi waktu tinggal hidrolis masing-masing reaktor. Dari ketiga perlakuan waktu pengolahan yakni pada jam ke-6, jam ke-12 dan jam ke-24. Pada pengolahan 6 jam, Tingkat Penyisihan Amoniak berbeda pada masing-masing reaktor. Tingkat Penyisihan Amoniak (NH_3) pada reaktor 1 (Σ *Kaldness* = 20%) dan reaktor 2 (Σ *Kaldness* = 40%) memiliki nilai yang sama yakni dengan sebesar 96.61 % atau sebesar 7,174 mg/L. Sedangkan pada reaktor 3 (Σ *Kaldness* = 60%) Tingkat Penyisihan Amoniak (NH_3) yakni sebesar 56.61 % atau sebesar 4.204 mg/L.

Pada jam ke-12 pengolahan air limbah, Penyisihan Amoniak (NH_3) sudah tidak sebesar pengolahan 6 jam. Dengan nilai penyisihan tertinggi yakni pada reaktor 2 dengan Jumlah *Kaldness* sebesar 40% dengan Penyisihan Amoniak (NH_3) sebesar 96.91 % atau sebesar 7.196 mg/L. Kemudian pada reaktor 1 (Σ *Kaldness* = 20%) memiliki Tingkat Degradasi Amoniak (NH_3) sebesar 96.82 % atau sebesar 7.189mg/L. Adapun pada reaktor 3 (Σ *Kaldness* = 40 %) tingkat penyisihan sebesar 83.87 % atau sebesar 6.228 mg/L. Dari data tersebut, terlihat bahwa pada retensi waktu pengolahan 12 jam Penyisihan Amoniak (NH_3) tidak terlalu signifikan bila dibandingkan dengan 6 jam pengolahan awal air limbah.

Sedangkan pada pengolahan air limbah dengan waktu retensi 24 jam,

tor 1 (Σ *Kaldness* = 20%) memiliki Tingkat Penyisihan Amoniak (NH_3)



tertinggi yakni sebesar 98.3 % atau sebesar 7.279 mg/L. pada reaktor 2 (Σ *Kaldness* = 40%) tingkat penyisihan hampir sama dengan reaktor 1 dengan persentase 97.92 % atau sebesar 7.271 mg/L. Adapun pada reaktor 3 (Σ *Kaldness* = 60%) tingkat penyisihan Amoniak (NH_3) juga sangat tinggi dengan persentase 90.43 % atau sebesar 6.715 mg/L.

Dari data diatas, terlihat bahwa waktu retensi pengolahan optimal pada 6 jam pengolahan dengan persentase pengolahan mencapai 96 % dari nilai amoniak (NH_3) awal air limbah. Sedangkan untuk jam ke-12 dan jam ke-24 pengolahan, tingkat penyisihan masing-masing hanya sebesar 0.24 % atau penyisihan sebesar 0.015 dan 0.14 % atau sebesar 0.105 mg/L dari nilai penyisihan amoniak (NH_3) 6 jam pengolahan. Hal ini sesuai dengan penelitian sejenis oleh Anisa dan Herumurti (2017) menggunakan Metode MBBR Tingkat Penyisihan Ammonia sebesar 92.8 %.

Bila dibandingkan dengan penelitian oleh Said dan Syabani (2018) menggunakan metode biofilter menggunakan media bioball 20% (Luas permukaan = $200\text{m}^2/\text{m}^3$) penyisihan ammonia pada waktu tinggal yang sama selama 12 Jam menyisihkan Ammonia sebesar 68 %. Penelitian lain oleh Irmanto dan Suyata (2009) menggunakan Media Arang Aktif, *removal* Ammonia sebesar 64 %. Penelitian oleh Hibban et al (2016) menggunakan Biofilter Aerob Media Tubular Plastik (Luas permukaan = $125\text{m}^2/\text{m}^3$) Penyisihan Amonia sebesar 68,44 %. Dari beberapa penelitian tersebut terlihat bahwa Penyisihan Ammonia menggunakan Metode MBBR dengan Media *Kaldness* (K1) penyisihan jauh lebih

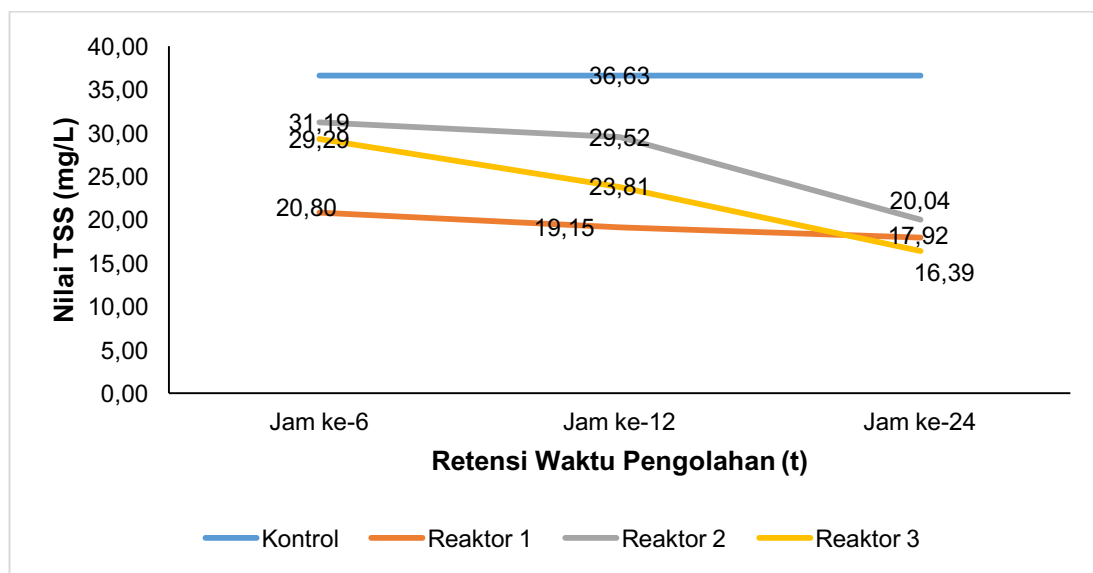
jan penyisihan optimal hingga 98,3 %.



Pada prinsipnya, Komponen Nitrogen dalam air limbah berupa amoniak (NH_4^+), apabila berada pada kondisi yang kaya akan oksigen (O_2) dan mengalami pertumbuhan mikroorganismenya seperti bakteri nitrosomonas kemudian akan mengalami proses oksidasi menjadi senyawa nitrit dan senyawa nitrat. Dalam proses ini, dimana kadar amoniak dalam air limbah akan berkurang sedangkan akan terjadi Peningkatan Kadar Nitrit dan Nitrat (Said dan Syabani 2018).

4. Nilai Total Suspended Solid (TSS)

Hasil pengukuran nilai Total Suspended Solid (TSS) pada percobaan diperlihatkan pada Gambar 10.



Gambar 10. Nilai TSS masing-masing reaktor pada retensi waktu pengolahan berbeda

Zat padat yang tersuspensi berkaitan dengan kekeruhan dalam air limbah, hal ini dikarenakan peningkatan padatan tersuspensi akan diikuti dengan meningkatnya kekeruhan. Kekeruhan dalam air akan membahayakan kehidupan organisme dan menyebabkan badan air tidak produktif karena akan menghalangi

sinar matahari untuk proses fotosintesis.



Dari hasil penelitian terlihat bahwa nilai awal TSS sebelum pengolahan pada air limbah daerah Kanal Pampang UMI adalah sebesar 36.63 mg/L. Nilai awal TSS ini bila mengacu pada standar baku mutu air limbah domestik yang dikeluarkan oleh kementerian lingkungan hidup (KLHK) masih diatas ambang batas yang telah ditetapkan. Pengolahan air limbah menggunakan Metode *Moving Bed Biofilm Reactor* (MBBR) secara aerobik diharapkan data menurunkan kadar suspensi dalam air imbah.

Dari grafik Gambar 9 terlihat bahwa terdapat 3 jenis perlakuan retensi waktu tinggal hidrolis masing-masing reaktor. Dari ketiga perlakuan waktu pengolahan yakni pada jam ke-6, jam ke-12 dan jam ke-24. Pada pengolahan 6 jam tingkat penyisihan TSS berbeda pada masing-masing reaktor. Tingkat penyisihan TSS pada reaktor 1 ($\Sigma Kaldness = 20\%$) memiliki tingkat *removal* tertinggi yakni sebesar 43.22 % atau sebesar 15.83 mg/L. selanjutnya pada reaktor 3 ($\Sigma Kaldness = 60\%$) dengan persentase penyisihan suspensi yakni 20.03 % atau sebesar 7.34 mg/L. Sedangkan tingkat penyisihan terendah yakni pada reaktor 2 ($\Sigma Kaldness = 40\%$) yakni sebesar 14.84 % atau sebesar 5.44 mg/L. dari data tersebut, terlihat bahwa untuk pengolahan 6 jam reaktor 1 dan reaktor 3 telah menyisihkan total suspensi solid dibawah baku mutu yang telah ditetapkan, sedangkan untuk reaktor 2 masih diatas ambang batas baku mutu air limbah domestik (Berdasarkan peraturan Menteri LHK no. 68 tahun 2016).

Untuk pengolahan air limbah dengan retensi waktu 12 jam, tingkat penyisihan meningkat pada ketiga reaktor. Pada reaktor 1 dengan jumlah sebesar 20% tingkat penyisihan tergolong yang tertinggi yakni sebesar



47.72% atau sebesar 17.48 mg/L. Kemudian pada reaktor 3 ($\Sigma Kaldness = 60\%$) dengan tingkat degradasi suspensi sebesar 35 % atau sebesar 12.82 mg/L. Adapun pada reaktor 2 ($\Sigma Kaldness = 40\%$) tingkat penyisihan TSS sebesar 19.40 % atau sebesar 7.11 mg/L. Dari data tersebut, terlihat bahwa pada retensi waktu pengolahan 12 jam pada ketiga reaktor telah menyisihkan TSS hingga dibawah baku mutu yang telah ditetapkan walaupun penurunan kadar TSS yang tidak terlalu signifikan bila dibandingkan 6 jam pengolahan pertama.

Sedangkan pada pengolahan air limbah dengan waktu retensi 24 jam, pada reaktor 3 ($\Sigma Kaldness = 60\%$) memiliki tingkat penyisihan TSS tertinggi yakni sebesar 55.24 % atau sebesar 20.24 mg/L. Selanjutnya pada reaktor 1 ($\Sigma Kaldness = 20\%$) persentase penyisihan sebanyak 51.07 % atau sebesar 18.71 mg/L. Adapun pada reaktor 2 ($\Sigma Kaldness = 40\%$) tingkat penyisihan TSS juga mengalami peningkatan dengan persentase sebesar 45.30 % atau sebesar 16.59 mg/L.

Dari data diatas, terlihat bahwa waktu retensi pengolahan optimal pada 12 jam pengolahan dengan persentase pengolahan tertinggi mencapai 55 % dari nilai TSS awal air limbah. Sedangkan bila mengacu pada standar baku mutu air limbah domestik pengolahan pada 12 jam sudah cukup untuk memenuhi nilai ambang batas tersebut. Hal ini sesuai dengan penelitian yang dilakukan oleh Sayoga *et al.*, (2013) tentang peningkatan kualitas *effluent* dari limbah cair pabrik tahu menggunakan Metode *Wastewater Double Treatment* (pengolahan secara anaerob-aerob). Dari hasil penelitian tersebut menunjukkan bahwa kadar

pu didegradasi sampai 57%.



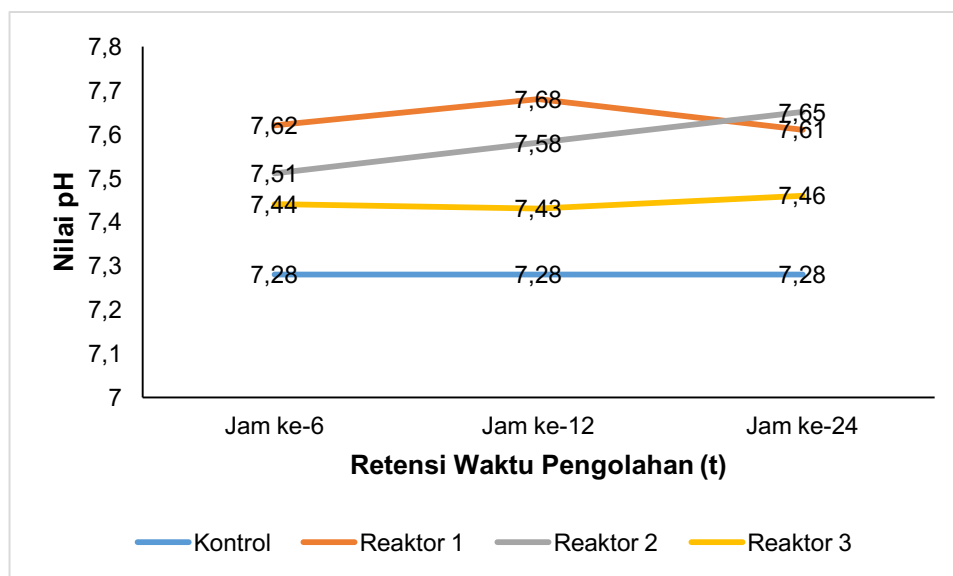
Beberapa metode lain yang digunakan dalam pengolahan limbah cair untuk menyisihkan kandungan TSS dalam air yakni seperti yang dilakukan oleh Yazid et al (2012) pada konsentrasi TSS rendah penyisihan TSS dengan Metode *Upflow An-aerobic Sludge Blanket* menggunakan Media *Bioball* sebesar 47,29 %. Pada metode aerob menggunakan *bioball* efisiensi penyisihan TSS sebesar 74.30 % (Rizki et al., 2012).

Menurut Said dan Santoso (2018), padatan tersuspensi yang ada di dalam air terdiri dari berbagai macam zat, misalnya lumpur, pasir halus, dan liat yang merupakan zat anorganik dan bahan-bahan organik yang melayang dalam air. Bahan- bahan organik yang merupakan padatan tersuspensi terdiri dari berbagai senyawa seperti protein, lemak, selulosa, yang melayang-layang dalam air atau pun berupa bakteri mikroorganisme, algae, protozoa, dan lain sebagainya. Bahan-bahan organik tersebut berasal dari sumber alami ataupun dari sumber antropogenik seperti buangan kegiatan manusia seperti kegiatan rumah tangga, kegiatan industri, pertambangan pertanian, dan kegiatan lainnya.



5. Nilai pH

Hasil pengukuran nilai pH pada percobaan diperlihatkan pada Gambar 11.



Gambar 11. Nilai pH Pada Masing-Masing Reaktor Dengan Waktu Pengolahan Berbeda

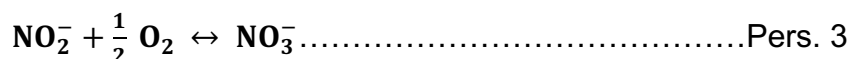
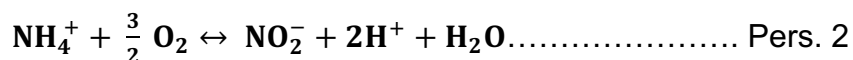
Selain jumlah biomassa dan *Dissolved Oxygen*, parameter lain yang berpengaruh terhadap proses nitrifikasi dan denitrifikasi yang terjadi adalah pH. Nilai pH pada ketiga reaktor selama pengoperasian berlangsung yakni berkisar antara 7.28 - 7.68. Pada ketiga reaktor, terjadi peningkatan nilai pH. Peningkatan nilai pH ini diakibatkan dari proses perubahan bentuk senyawa ammonia-nitrogen menjadi bentuk ion yang berupa ammonium jika terlarut di dalam air. Sehingga ion OH^- akan mengalami peningkatan yang berarti naiknya nilai pH pada reaktor. Proses perubahan senyawa dapat dilihat pada persamaan 1:



Selain terjadi proses peningkatan, di dalam reaktor nilai pH juga dapat mengalami penurunan jika terjadi proses pembentukan senyawa nitrat (Sawyer *et al.*, 2003),

dapat dilihat pada reaksi persamaan 2 dibawah ini:





Dari persamaan reaksi di atas terlihat bahwa setiap mol ammonium yang mengalami oksidasi akan memproduksi 2 mol ion hidrogen (H), yang berarti akan menghasilkan penurunan nilai pH pada lingkungan yang nilai buffernya rendah. Bakteri autotrofik yang ada dalam proses nitrifikasi sangat responsif terhadap nilai pH yang ada. Namun, kenaikan dan penurunan nilai pH pada air limbah di dalam reaktor tidak signifikan, nilainya relatif hampir sama dan masih berada pada kisaran nilai pH netral.

Nilai pH di dalam masing-masing reaktor termasuk ke dalam kisaran pH yang baik untuk pertumbuhan dan perkembangbiakan mikroorganisme. Nilai pH tersebut yaitu 7.28 - 7.68 dan berada pada suhu 27°C - 29°C. adapun Nilai pH optimum untuk proses nitrifikasi berkisar antara pH 7- 8. Pada Nilai pH < 6,5 tidak akan terjadi proses pertumbuhan bakteri dan proses nitrifikasi. Pada penelitian ini nilai pH yang ditunjukkan oleh reaktor MBBR outlet menunjukkan rentang pH optimum masing-masing reaktor adalah sebesar 7.68 pada reaktor 1, pada reaktor 2 sebesar 7.65 dan pada reaktor 3 sebesar 7.46 yang termasuk pada rentang pH optimum proses nitrifikasi sehingga memiliki besar efisiensi removal ammonia-nitrogen yang baik. Hal ini menunjukkan mikroorganisme yang berkembang dengan baik adalah bakteri nitrifikasi (autotrofik) atau mikroorganisme aerobik obligat. Penelitian ini sesuai dengan penelitian yang

oleh Anisa dan Herumurti (2017) terkait pengolahan limbah domestik



menggunakan *Moving Bed Biofilm Reactor* (MBBR) untuk menurunkan nitrogen dimana nilai pH disetiap reaktor selama kegiatan running berlangsung yaitu berkisar antara 6.76 – 8.25. Penelitian (Said dan Syabani 2018) juga menyatakan bahwa pada pH air limbah yang masuk ke reaktor pada penelitian sejenis memiliki kondisi basa (>7).

Peningkatan nilai pH juga disebabkan oleh adanya penambahan suplai oksigen melalui proses aerasi. Dengan menggunakan mesin, peningkatan kadar oksigen terlarut dalam air juga akan meningkatkan nilai pH.

D. Pengaruh Jumlah *Kaldness* dan Waktu Retensi Pengolahan Terhadap Penyisihan Parameter Air Limbah

1. Pengaruh Jumlah *Kaldness* (Reaktor) Terhadap Penyisihan Parameter Air Limbah

Berdasarkan Uji statistik menggunakan Uji Oneway anova untuk menganalisis pengaruh jumlah *Kaldness* K1 terhadap penyisihan parameter air limbah seperti BOD, COD, Amoniak, TSS dan pH (Tabel 6) didapatkan hasil bahwa pada ketiga reaktor (berdasarkan Jumlah *Kaldness*) tidak ada pengaruh signifikan (Sig. <0.05) dalam proses penyisihan kandungan BOD, COD, Amoniak dan TSS, artinya bahwa dari ketiga reaktor hasil penyisihan dianggap sama dan mampu menyisihkan bahan pencemar hingga dibawah baku mutu yang telah ditetapkan. Namun untuk parameter air limbah seperti pH, didapatkan hasil berdasarkan uji statistik, ada pengaruh signifikan (Sig <0.05) dari masing-masing reaktor. Perbedaan pengaruh nilai pH dari setiap reaktor lebih dipengaruhi oleh jumlah oksigen dalam reaktor yang mendapat supply dari proses aerasi.

Dari hasil uji lanjut (Lampiran 5.) menggunakan uji Tukey & Duncan



terlihat perbedaan signifikan pada reaktor 1 ($\Sigma Kaldness = 20\%$) terhadap Reaktor 2 ($\Sigma Kaldness = 20\%$) dan reaktor 3 ($\Sigma Kaldness = 60\%$). Tidak adanya perbedaan signifikan dari ketiga reaktor dalam penyisihan bahan pencemar air limbah dikarenakan ketersediaan oksigen pada ketiga reaktor tersedia dengan baik dan juga dikarenakan luas permukaan media kaldenes K1 yang cukup besar sehingga tersedia ruang untuk melekatnya bakteri ($\pm 500 \text{ m}$) dan Perbandingan volume media yang kecil dibandingkan dengan volume air reaktor akan menyebabkan proses gerakan random atau turbulensi antar media yang terkena aerasi sehingga media akan terus mengalami rotasi dan pergerakan dan akan meningkatkan efektivitas pengolahan bahan pencemar (Said dan Santoso 2018). Pengaruh Jumlah *Kaldness* terhadap penyisihan parameter air limbah dalam uji statistik dapat dilihat pada Tabel 7.



Tabel 7. Uji Pengaruh Jumlah *Kaldness* Pada Masing-Masing Reaktor Terhadap Penyisihan Parameter Air Limbah

UJI ANOVA (Reaktor)						
		Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
BOD	Between Groups	98.391	2	48.196	2.661	.149
	Within Groups	108.659	6	18.110		
	Total	205.050	8			
pH	Between Groups	.059	2	.030	13.538	.006
	Within Groups	.013	6	.002		
	Total	.072	8			
COD	Between Groups	1688.889	2	844.444	.046	.956
	Within Groups	110950.000	6	18491.667		
	Total	112638.889	8			
Amoniak	Between Groups	4.489	2	2.245	3.785	.086
	Within Groups	3.558	6	.593		
	Total	8.047	8			
TSS	Between Groups	87.272	2	43.636	1.632	.272
	Within Groups	160.401	6	26.734		
	Total	247.674	8			

2. Pengaruh Waktu Tinggal Hidrolik Terhadap Penyisihan Parameter Air Limbah

Berdasarkan Uji statistik menggunakan Uji Oneway anova untuk menganalisis pengaruh waktu pengolahan terhadap penyisihan bahan pencemar air limbah seperti BOD, COD, Amoniak, TSS dan pH (Tabel 8) didapatkan hasil bahwa dari ketiga perlakuan waktu pengolahan yakni 6 jam, 12 jam dan 24 jam tidak ada perbedaan signifikan (Sig. <0.05) dalam proses penyisihan kandungan



pencemar seperti BOD Amoniak, TSS, dan nilai pH. Hal ini

mengindikasikan bahwa dari ketiga waktu proses penyisihan bahan pencemar tersebut dianggap sama dan mampu menyisihkan bahan pencemar hingga dibawah baku mutu sejak 6 jam pengolahan. Sedangkan untuk bahan pencemar seperti COD adalah sebaliknya. Terdapat perbedaan signifikan ($\text{sig} < 0.05$) dari ketiga waktu pengolahan. Hal ini terjadi terjadi dikarenakan penyisihan bahan pencemar COD sangat dipengaruhi oleh waktu dalam pengolahan. Dimana dari hasil penelitian kandungan COD baru mengalami penyisihan hingga dibawah standar baku mutu ($\text{COD} = 100 \text{ mg/L}$) pada waktu 24 jam pengolahan. Dari uji lanjut terlihat perbedaan signifikan antara 24 jam pengolahan dengan 6 jam dan 12 Jam pengolahan air limbah (Lampiran 6). Hal ini sesuai dengan penelitian (Rahadi, et al 2006) bahwa efisiensi penurunan terbesar terjadi pada waktu tinggal 24 jam yaitu sebesar 93.5%. hal ini berarti bahwa semakin besar waktu pengolahan, maka semakin besar pula tingkat efisiensi penyisihannya. Pengaruh waktu pengolahan terhadap penyisihan parameter air limbah dalam uji statistik dapat dilihat pada Tabel 8 ini.



Tabel 8. Uji Pengaruh Waktu Pengolahan Terhadap Penyisihan Parameter Air Limbah

ANOVA (Waktu Pengolahan terhadap Penyisihan Bahan Pencemar)						
		Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
BOD	Between Groups	89.207	2	44.604	2.310	.180
	Within Groups	115.843	6	19.307		
	Total	205.050	8			
pH	Between Groups	.004	2	.002	.185	.836
	Within Groups	.068	6	.011		
	Total	.072	8			
COD	Between Groups	110630.889	2	55315.444	165.285	.000
	Within Groups	2008.000	6	334.667		
	Total	112638.889	8			
Amoniak	Between Groups	1.337	2	.669	.598	.580
	Within Groups	6.710	6	1.118		
	Total	8.047	8			
TSS	Between Groups	125.729	2	62.864	3.093	.119
	Within Groups	121.945	6	20.324		
	Total	247.674	8			

E. Seeding Dan Aklimatisasi dan Karakteristik MBBR

Setelah proses seeding dan akimatisasi biomassa bakteri aerob menempel pada keseluruhan *Kaldness* masing-masing reaktor. Namun untuk ketebalan biomassa berbeda-beda. Hal ini seperti terlihat pada Tabel 9.



Tabel 9. Karakteristik *Kaldness* Masing-Masing Reaktor Pada Percobaan

Perlakuan	Gambar	Karakteristik
Kontrol		- Warna <i>Kaldness</i> masih putih bersih
<i>Kaldness</i> 20 %		- <i>Kaldness</i> berwarna coklat putih - Bakteri aerob telah menempati keseluruhan permukaan <i>Kaldness</i>
<i>Kaldness</i> 40 %		- <i>Kaldness</i> berubah berwarna coklat pekat - Bakteri aerob telah menempati keseluruhan permukaan <i>Kaldness</i>
<i>Kaldness</i> 60 %		- <i>Kaldness</i> berubah berwarna putih kecoklatan - Bakteri aerob telah menempati keseluruhan permukaan <i>Kaldness</i> namun tidak sebanyak <i>Kaldness</i> 20% dan 40%

Proses seeding dilakukan dengan cara menumbuhkan biofilm dengan bantuan bakteri aerob. Dosis yang digunakan adalah 2000 mg/L dari volume air limbah Liter. yang berarti sebanyak 100 gram bakteri aerob setiap reaktor.



Proses seeding dilakukan selama 48 jam atau 2 hari. Kemudian dilanjutkan dengan proses aklimatisasi selama 20 hari dengan waktu tinggal 24 jam setelah seeding. Hal ini sesuai dengan penelitian yang dilakukan oleh Munazah dan Soewondo (2008) bahwa aklimatisasi dilakukan dengan mengalirkan limbah secara kontinyu pada bak pengolahan selama 20 hari.

Pada proses pengolahan biologis aerobik ini biomasnya menempel pada Media *Kaldness* K1 (*Attached Growth*), dimana air limbah akan mengalami kontak dengan biomassa yang menempel pada Media *Kaldness* dan mengefektifkan kinerja proses pengolahan zat organik dan ammonium (Tabel 9). Biomass yang menempel pada media akan terlepas setelah melebihi waktu retensi dan akan diendapkan pada unit pengendapan.



BAB V. KESIMPULAN DAN SARAN

A. Kesimpulan

Dari hasil penelitian yang dilakukan, dapat disimpulkan bahwa:

1. Pengolahan limbah cair domestik menggunakan metode *Moving Bed Biofilm Reactors* (MBBR) sangat efektif menurunkan kadar nutrisi dan bahan pencemar dalam air limbah domestik. Dimana dari ketiga reaktor, reaktor 1 (Σ *Kaldness* = 20%) dengan waktu pengolahan selama 24 jam merupakan reaktor yang paling efektif dan efisien dalam penyisihan beban pencemar dalam Air Limbah Domestik Sungai Pampang UMI dengan nilai penyisihan BOD sebesar 76.9 %, COD sebesar 89.5 %, Amoniak (NH₃-N) sebesar 98.03 %, TSS sebesar 51.07 % dengan nilai pH sebesar 7.61 dan berada pada rentang suhu 27°C - 29°C.
2. Dari hasil uji pengaruh menggunakan uji *one way anova* bahwa tidak ada pengaruh signifikan (sig. <0.05) Jumlah *Kaldness* K1 terhadap penyisihan parameter air limbah seperti BOD, COD, Amoniak (NH₃-N) dan TSS namun untuk pH terdapat pengaruh pada ketiga reaktor. Sedangkan hasil uji pengaruh terhadap waktu pengolahan, didapatkan hasil uji tidak ada perbedaan signifikan (sig. <0.05) dari ketiga waktu pengolahan terhadap penyisihan parameter air limbah seperti BOD, Amoniak, TSS dan pH. Namun untuk parameter seperti COD sangat dipengaruhi oleh waktu pengolahan. Untuk Kepadatan *Kaldness* pada reaktor 2 (Σ *Kaldness* = 40%)
ness lebih berwarna coklat pekat dan bakteri aerob menempati



keseluruhan Permukaan *Kaldness* , pada reaktor 1 ($\Sigma Kaldness = 20\%$) berwarna coklat putih dan pada reaktor 3 ($\Sigma Kaldness = 60\%$) Karakteristik *Kaldness* warna putih kecoklatan. Untuk waktu tinggal hidrolis air limbah didapatkan hasil bahwa semakin lama waktu pengolahan maka semakin tinggi efektivitas pengolahan.

B. Saran

Saran penelitian ini ialah:

1. Perlu adanya penelitian kombinasi antara proses Anoxic dan aerob metode MBBR, untuk menganalisis efektifitas proses kombinasi tersebut
2. Perlu uji coba metode sejenis untuk menganalisis efektivitas pengolahan pada air limbah domestik seperti Rumah Sakit dan Klinik Kesehatan



DAFTAR PUSTAKA

- Abbassi, Bassim, dan Ismail Al-Baz. 2008. *Efficient Management of Wastewater: Its Treatment and Reuse in Water-Scarce Countries. Efficient Management of Wastewater*. https://doi.org/10.1007/978-3-540-74492-4_3.
- Ahl, R. Magnus, Torove Leiknes, dan Hallvard Ødegaard. 2006. "Tracking particle size distributions in a moving bed biofilm membrane reactor for treatment of municipal wastewater." *Water Science and Technology*. <https://doi.org/10.2166/wst.2006.205>.
- Anderson, J. 2003. "The environmental benefits of water recycling and reuse." In *Water Science and Technology: Water Supply*. <https://doi.org/10.2166/ws.2003.0041>.
- Anisa, Ana, dan Welly Herumurti. 2017. "Pengolahan Limbah Domestik Menggunakan Moving Bed Biofilm Reactor (MBBR) dengan Proses Aerobik-Anoksik untuk Menurunkan Konsentrasi Senyawa Organik dan Nitrogen." *Jurnal Teknik ITS* 6 (2). <https://doi.org/10.12962/j23373539.v6i2.25166>.
- Aryani, Yanu, dan Tetri Widiyani. 2004. "Toksistas Akut Limbah Cair Pabrik Batik CV . Giyant Santoso Surakarta dan Efek Sublethalnya terhadap Struktur Mikroanatomi Branchia dan Hepar Ikan Nila (*Oreochromis niloticus* T .)." 6 (1998): 147–53.
- Bahadori, Alireza, dan Scott T. Smith. 2016. *Dictionary of Environmental Engineering and Wastewater Treatment. Dictionary of Environmental Engineering and Wastewater Treatment*. <https://doi.org/10.1007/978-3-319-26261-1>.
- Barnes, K., et al. 1998. "Watershed Protection Plan Development Guidebook." *Northeast Georgia Regional Development Center*.
- Bertino, Andrea. 2010. "Study on one-stage partial nitrification-anammox process in moving bed biofilm reactors: A sustainable nitrogen removal." *Royal Institute of technology*.
- Busch, Jan, Andreas Cruse, dan Wolfgang Marquardt. 2007. "Modeling submerged hollow-fiber membrane filtration for wastewater treatment." *Journal of Membrane Science*. <https://doi.org/10.1016/j.memsci.2006.11.008>.
- Couto, Eduardo De Aguiar Do, Maria Lúcia Calijuri, Paula Peixoto Assemany, Aníbal Da Fonseca Santiago, dan Lucas Sampaio Lopes. 2015. "Greywater treatment in airports using anaerobic filter followed by UV disinfection: An efficient and low cost alternative." In *Journal of Cleaner Production*. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2014.07.065>.
- Dhamar Yudho Aji onesia, dan Aria Farah Mita. 2008. "Undang Undang Republik Indonesia Nomor 18 Tahun 2008 Tentang Pengelolaan Sampah." *Cell*. <https://doi.org/10.1016/j.cell.2009.01.043>.
- Edzwald, James K. 2011. *Water Quality & Treatment: A Handbook on Drinking Water. McGraw Hill*.
- Erni, M., H. P. Bader, P. Drechsel, R. Scheidegger, C. Zurbrügg, dan R. Kipfer. 2011. "r and nutrient flows in Kumasi, Ghana." *Urban Water Journal*. [/10.1080/1573062X.2011.581294](https://doi.org/10.1080/1573062X.2011.581294).



- Filliazati, Mega, Isna Apriyani, dan Titin Anita Zahara. 2013. "Pengolahan Limbah Cair Domestik Dengan Biofilter Aerob Menggunakan Media Bioball Dan Tanaman Kiambang." *Jurnal Teknologi Lingkungan Lahan Basah* 1 (1): 1–10. <https://doi.org/10.26418/jtllb.v1i1.4028>.
- G.S.Sodhi. 2015. *Konsep Dasar Kimia Lingkungan*. Diedit oleh Tri Rahayu Ningsih. 3 ed. Jakarta: Buku Kedokteran EGC.
- Hanafi, Sulfikar, dan Jumri Purnama. 2012. "Konsentrasi Nutrien di Saluran Pembuangan Kota Makassar: Sebuah Survei Awal." *Sainsmat* 1 (1): 68–78.
- Hendricks, David. 2016. *Fundamentals of Water Treatment Unit Processes*. *Fundamentals of Water Treatment Unit Processes*. <https://doi.org/10.1201/9781439895092>.
- Hernández Leal, L., H. Temmink, G. Zeeman, dan C. J.N. Buisman. 2011. "Characterization and anaerobic biodegradability of grey water." *Desalination*. <https://doi.org/10.1016/j.desal.2010.11.029>.
- Hibban, Muhammad, Arya Rezagama, dan Purwono. 2016. "Studi Penurunan Konsentrasi Amonia dalam Limbah Cair Domestik dengan Teknologi Biofilter Aerob Media Tubular Plastik pada Awal Pengolahan." *Teknik Lingkungan* 5 (1): 6–8. <https://doi.org/10.16309/j.cnki.issn.1007-1776.2003.03.004>.
- Irmanto, Irmanto, dan Suyata Suyata. 2009. "Penurunan Kadar Amonia, Nitrit, Dan Nitrat Limbah Cair Industri Tahu Menggunakan Arang Aktif Dari Ampas Kopi." *Molekul* 4 (2): 105. <https://doi.org/10.20884/1.jm.2009.4.2.68>.
- Kermani, M., B. Bina, H. Movahedian, M. M. Amin, dan M. Nikaein. 2008. "Application of moving bed biofilm process for biological organics and nutrients removal from municipal wastewater." *American Journal of Environmental Sciences*. <https://doi.org/10.3844/ajessp.2008.675.682>.
- Kholif, Muhammad Al. 2018. "Penurunan Beban Pencemar Pada Limbah Domestik Dengan Menggunakan Moving Bed Biofilter Reaktor (Mbbr)." *Al-Ard: Jurnal Teknik Lingkungan* 4 (1): 1–8. <https://doi.org/10.29080/alard.v4i1.365>.
- Kodoatie, Robert J. & Roestam Syarief. 2010. *Tata Ruang Air*. Diedit oleh Suci Nurasih. 1 ed. Yogyakarta: Penerbit Andi.
- Leyva-Díaz, J. C., K. Calderón, F. A. Rodríguez, J. González-López, E. Hontoria, dan J. M. Poyatos. 2013. "Comparative kinetic study between moving bed biofilm reactor-membrane bioreactor and membrane bioreactor systems and their influence on organic matter and nutrients removal." *Biochemical Engineering Journal*. <https://doi.org/10.1016/j.bej.2013.04.023>.
- Menteri, Peraturan, dan Pekerjaan Umum. 2007. "Pedoman umum rencana tata bangunan dan lingkungan."
- Metcalf, dan Eddy. 1991. "Wastewater Engineering Treatment and Reuse." *Transportation Research Part B*. [https://doi.org/10.1016/0191-2615\(91\)90038-K](https://doi.org/10.1016/0191-2615(91)90038-K).



Rieska, dan Prayatni Soewondo. 2008. "Penyisihan Organik Melalui Pengolahan Dengan Modifikasi Abr Dan Constructed Wetland Pada

- Industri Rumah Tangga.” *Jurnal Teknik Lingkungan* 4 (4): 93–100.
- Odegaard, H., B. Rusten, dan T. Westrum. 1994. “Erratum: A new moving bed biofilm reactor - Applications and results (Water Science and Technology (1994) 29 10-11 (157-165)).” *Water Science and Technology*.
- Patel, H., dan R. T. Vashi. 2013. “Comparison of naturally prepared coagulants for removal of COD and color from textile wastewater.” *Global Nest Journal*. <https://doi.org/10.30955/gnj.001002>.
- Rahadi, Bambang, Ruslan Wirosoedarmo, dan Aprilia Harera. 2006. “Anaerobic-Aerobic System On Wastewater Treatment Of Tofu.” *Jurnal Sumbidaya Alam dan Lingkungan* 16: 17–26.
- Rizki, Nevya, Endro Sutrisno, dan Sri Sumiyati. 2012. “Penurunan Konsentrasi COD dan TSS pada Limbah Cair Tahu dengan Teknologi Kolam (POND) - Biofilm menggunakan Media Biofilter Jaring Ikan dan Bioball.” *Program Studi Teknik Lingkungan Fakultas Teknik Universitas Diponegoro*. <https://doi.org/10.1017/CBO9781107415324.004>.
- Said, Nusa Idaman, dan Teguh Iman Santoso. 2018. “Penghilangan Polutan Organik Dan Padatan Tersuspensi Di Dalam Air Limbah Domestik Dengan Proses Moving Bed Biofilm Reactor (Mbbr).” *Jurnal Air Indonesia* 8 (1): 33–46. <https://doi.org/10.29122/jai.v8i1.2382>.
- Said, Nusa Idaman, dan Muhammad Rizki Syabani. 2018. “Penghilangan Amoniak Di Dalam Air Limbah Domestik Dengan Proses Moving Bed Biofilm Reactor (Mbbr).” *Jurnal Air Indonesia* 7 (1). <https://doi.org/10.29122/jai.v7i1.2399>.
- Sayoga, Novan Bagas, Nur Hidayat, dan Sakunda Anggarini. 2013. “Peningkatan Kualitas Effluent Limbah Cair Tahu Dengan Menggunakan Sistem Wastewater Double Treatment (Aerob-Anaerob) The Quality Improvement Of Effluent Wastewater Of Tofu Using Wastewater Double Treatment.” *Jurnal Teknologi Industri Pertanian*, 1–9.
- Schwarzenbach, René P., Thomas Egli, Thomas B. Hofstetter, Urs Von Gunten, dan Bernhard Wehrli. 2010. “Global water pollution and human health.” *Annual Review of Environment and Resources*. <https://doi.org/10.1146/annurev-environ-100809-125342>.
- Spellman, Frank R. 2013. *Handbook of Water and Wastewater Treatment Plant Operations. Handbook of Water and Wastewater Treatment Plant Operations*. <https://doi.org/10.1201/b15579>.
- Sperling, M. Von. 2015. “Wastewater Characteristics, Treatment and Disposal.” *Water Intelligence Online*. <https://doi.org/10.2166/9781780402086>.
- Water, National, dan Quality Management. 2000. “Australian and New Zealand Guidelines for Fresh and Marine Water Quality.” *National Water Quality Management Strategy*.



Marcos Alvarez, Chi-Chung Tang, Robert W. Horvath, dan James F. Evaluation Of Moving Bed Biofilm Reactor Technology For Enhancing

Nitrogen Removal In A Stabilization Pond Treatment Plant.” *Proceedings of the Water Environment Federation*. <https://doi.org/10.2175/193864705783867035>.

Wisjnuprpto. 2007. *Pengolahan Limbah Industri*. 1 ed. Bandung: Teknik Lingkungan ITB.

Yazid, Fauzia Rahmiyati, Syafruddin, dan Ganjar Samudro. 2012. “Pengaruh Variasi Konsentrasi Dan Debit Pada Pengolahan Air Artifisial (Campuran Grey Water Dan Black Water) Menggunakan Reaktor Uasb.” *Jurnal Presipitasi* 9 (1): 1–1. <https://doi.org/10.14710/presipitasi.v9i1.31-40>.

Zhao, Xin, Min Ji, Mark Elliott, Julien Chauzy, dan Xiaohua Chen. 2015. “Case study of Marquette-Lez-Lille WWTP: Application of IFAS and THP for a city of the future.” *Water Practice and Technology*. <https://doi.org/10.2166/wpt.2015.028>.

Zita, Anna, dan Malte Hermansson. 1997. “Determination of bacterial cell surface hydrophobicity of single cells in cultures and in wastewater in situ.” *FEMS Microbiology Letters*. [https://doi.org/10.1016/S0378-1097\(97\)00214-0](https://doi.org/10.1016/S0378-1097(97)00214-0).



LAMPIRAN

Lampiran 1. Reaktor MBBR



Reaktor 1



Reaktor 2



Reaktor 3

Lampiran 2. Proses pengambilan Air Limbah Uji



Lampiran 3. Bakteri Aerob Untuk Proses Seeding



Lampiran 4. Pengujian sampel hasil pengolahan di Laboratorium Kimia FIKP UNHAS



Lampiran 5. Pengaruh Jumlah *Kaldness* Terhadap Penyisihan Parameter Air Limbah

Descriptives

		N	Mean	Std. Deviation	Std. Error	95% Confidence Interval for Mean Lower Bound
BOD	<i>Kaldness</i> 20%	3	8.10000	4.445076	2.566366	-2.94218
	<i>Kaldness</i> 40%	3	14.08000	1.913740	1.104898	9.32601
	<i>Kaldness</i> 60%	3	6.46667	5.559535	3.209799	-7.34398
	Total	9	9.54889	5.062733	1.687578	5.65733
pH	<i>Kaldness</i> 20%	3	7.63667	.037859	.021858	7.54262
	<i>Kaldness</i> 40%	3	7.58000	.070000	.040415	7.40611
	<i>Kaldness</i> 60%	3	7.44333	.015275	.008819	7.40539
	Total	9	7.55333	.095131	.031710	7.48021
COD	<i>Kaldness</i> 20%	3	201.66667	144.424144	83.383318	-157.10280
	<i>Kaldness</i> 40%	3	188.33333	129.423079	74.722449	-133.17142
	<i>Kaldness</i> 60%	3	221.66667	133.665004	77.171526	-110.37561
	Total	9	203.88889	118.658591	39.552864	112.67982
Amoniak	<i>Kaldness</i> 20%	3	.21100	.056789	.032787	.06993
	<i>Kaldness</i> 40%	3	.21133	.050856	.029362	.08500
	<i>Kaldness</i> 60%	3	1.70933	1.331595	.768797	-1.59853
	Total	9	.71056	1.002928	.334309	-.06036
TSS	<i>Kaldness</i> 20%	3	19.28900	1.443102	.833175	15.70414
	<i>Kaldness</i> 40%	3	26.91633	6.016974	3.473901	11.96934
	<i>Kaldness</i> 60%	3	23.16533	6.474117	3.737833	7.08273
	Total	9	23.12356	5.564099	1.854700	18.84661



Descriptives

		95% Confidence Interval for Mean		
		Upper Bound	Minimum	Maximum
BOD	<i>Kaldness</i> 20%	19.14218	5.390	13.230
	<i>Kaldness</i> 40%	18.83399	11.960	15.680
	<i>Kaldness</i> 60%	20.27732	2.150	12.740
	Total	13.44045	2.150	15.680
pH	<i>Kaldness</i> 20%	7.73071	7.610	7.680
	<i>Kaldness</i> 40%	7.75389	7.510	7.650
	<i>Kaldness</i> 60%	7.48128	7.430	7.460
	Total	7.62646	7.430	7.680
COD	<i>Kaldness</i> 20%	560.43613	35.000	290.000
	<i>Kaldness</i> 40%	509.83808	39.000	268.000
	<i>Kaldness</i> 60%	553.70894	68.000	311.000
	Total	295.09796	35.000	311.000
Amoniak	<i>Kaldness</i> 20%	.35207	.146	.251
	<i>Kaldness</i> 40%	.33767	.154	.251
	<i>Kaldness</i> 60%	5.01720	.710	3.221
	Total	1.48147	.146	3.221
TSS	<i>Kaldness</i> 20%	22.87386	17.921	20.797
	<i>Kaldness</i> 40%	41.86332	20.036	31.193
	<i>Kaldness</i> 60%	39.24793	16.393	29.293
	Total	27.40050	16.393	31.193



Test of Homogeneity of Variances

		Levene Statistic	df1	df2	Sig.
BOD	Based on Mean	2.438	2	6	.168
	Based on Median	.314	2	6	.742
	Based on Median and with adjusted df	.314	2	4.377	.745
	Based on trimmed mean	2.106	2	6	.203
pH	Based on Mean	1.527	2	6	.291
	Based on Median	1.120	2	6	.386
	Based on Median and with adjusted df	1.120	2	4.087	.409
	Based on trimmed mean	1.508	2	6	.295
COD	Based on Mean	.051	2	6	.950
	Based on Median	.003	2	6	.997
	Based on Median and with adjusted df	.003	2	5.897	.997
	Based on trimmed mean	.041	2	6	.960
Amoniak	Based on Mean	11.198	2	6	.009
	Based on Median	1.729	2	6	.255
	Based on Median and with adjusted df	1.729	2	2.014	.366
	Based on trimmed mean	9.818	2	6	.013
TSS	Based on Mean	2.280	2	6	.183
	Based on Median	.697	2	6	.534
	Based on Median and with adjusted df	.697	2	3.867	.552
	Based on trimmed mean	2.133	2	6	.200



UJI ANOVA (Reaktor)

		Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
BOD	Between Groups	96.391	2	48.196	2.661	.149
	Within Groups	108.659	6	18.110		
	Total	205.050	8			
pH	Between Groups	.059	2	.030	13.538	.006
	Within Groups	.013	6	.002		
	Total	.072	8			
COD	Between Groups	1688.889	2	844.444	.046	.956
	Within Groups	110950.000	6	18491.667		
	Total	112638.889	8			
Amoniak	Between Groups	4.489	2	2.245	3.785	.086
	Within Groups	3.558	6	.593		
	Total	8.047	8			
TSS	Between Groups	87.272	2	43.636	1.632	.272
	Within Groups	160.401	6	26.734		
	Total	247.674	8			



Post Hoc Tests

Multiple Comparisons

Dependent Variable		(I) Reaktor Uji	(J) Reaktor Uji	Mean Difference (I-J)	Std. Error	Sig.
BOD	Tukey HSD	<i>Kaldness</i> 20%	<i>Kaldness</i> 40%	-5.980000	3.474655	.273
			<i>Kaldness</i> 60%	1.633333	3.474655	.887
		<i>Kaldness</i> 40%	<i>Kaldness</i> 20%	5.980000	3.474655	.273
			<i>Kaldness</i> 60%	7.613333	3.474655	.151
		<i>Kaldness</i> 60%	<i>Kaldness</i> 20%	-1.633333	3.474655	.887
			<i>Kaldness</i> 40%	-7.613333	3.474655	.151
pH	Tukey HSD	<i>Kaldness</i> 20%	<i>Kaldness</i> 40%	.056667	.038200	.362
			<i>Kaldness</i> 60%	.193333*	.038200	.006
		<i>Kaldness</i> 40%	<i>Kaldness</i> 20%	-.056667	.038200	.362
			<i>Kaldness</i> 60%	.136667*	.038200	.027
		<i>Kaldness</i> 60%	<i>Kaldness</i> 20%	-.193333*	.038200	.006
			<i>Kaldness</i> 40%	-.136667*	.038200	.027
COD	Tukey HSD	<i>Kaldness</i> 20%	<i>Kaldness</i> 40%	13.333333	111.030526	.992
			<i>Kaldness</i> 60%	-20.000000	111.030526	.982
		<i>Kaldness</i> 40%	<i>Kaldness</i> 20%	-13.333333	111.030526	.992
			<i>Kaldness</i> 60%	-33.333333	111.030526	.952
		<i>Kaldness</i> 60%	<i>Kaldness</i> 20%	20.000000	111.030526	.982
			<i>Kaldness</i> 40%	33.333333	111.030526	.952
Amoniak	Tukey HSD	<i>Kaldness</i> 20%	<i>Kaldness</i> 40%	-.000333	.628748	1.000
			<i>Kaldness</i> 60%	-1.498333	.628748	.119
		<i>Kaldness</i> 40%	<i>Kaldness</i> 20%	.000333	.628748	1.000



			<i>Kaldness 60%</i>	-1.498000	.628748	.119
		<i>Kaldness 60%</i>	<i>Kaldness 20%</i>	1.498333	.628748	.119
			<i>Kaldness 40%</i>	1.498000	.628748	.119
TSS	Tukey HSD	<i>Kaldness 20%</i>	<i>Kaldness 40%</i>	-7.627333	4.221656	.246
			<i>Kaldness 60%</i>	-3.876333	4.221656	.650
		<i>Kaldness 40%</i>	<i>Kaldness 20%</i>	7.627333	4.221656	.246
			<i>Kaldness 60%</i>	3.751000	4.221656	.667
		<i>Kaldness 60%</i>	<i>Kaldness 20%</i>	3.876333	4.221656	.650
			<i>Kaldness 40%</i>	-3.751000	4.221656	.667



Multiple Comparisons

Dependent Variable		(I) Reaktor Uji	(J) Reaktor Uji	95% Confidence Interval	
				Lower Bound	Upper Bound
BOD	Tukey HSD	Kaldness 20%	Kaldness 40%	-16.64120	4.68120
			Kaldness 60%	-9.02786	12.29453
		Kaldness 40%	Kaldness 20%	-4.68120	16.64120
			Kaldness 60%	-3.04786	18.27453
		Kaldness 60%	Kaldness 20%	-12.29453	9.02786
			Kaldness 40%	-18.27453	3.04786
pH	Tukey HSD	Kaldness 20%	Kaldness 40%	-.06054	.17388
			Kaldness 60%	.07612	.31054
		Kaldness 40%	Kaldness 20%	-.17388	.06054
			Kaldness 60%	.01946	.25388
		Kaldness 60%	Kaldness 20%	-.31054	-.07612
			Kaldness 40%	-.25388	-.01946
COD	Tukey HSD	Kaldness 20%	Kaldness 40%	-327.33881	354.00548
			Kaldness 60%	-360.67214	320.67214
		Kaldness 40%	Kaldness 20%	-354.00548	327.33881
			Kaldness 60%	-374.00548	307.33881
		Kaldness 60%	Kaldness 20%	-320.67214	360.67214
			Kaldness 40%	-307.33881	374.00548
Amoniak	Tukey HSD	Kaldness 20%	Kaldness 40%	-1.92950	1.92884
			Kaldness 60%	-3.42750	.43084
		Kaldness 40%	Kaldness 20%	-1.92884	1.92950
			Kaldness 60%	-3.42717	.43117
		Kaldness 60%	Kaldness 20%	-.43084	3.42750



			Kaldness 40%	-0.43117	3.42717
TSS	Tukey HSD	Kaldness 20%	Kaldness 40%	-20.58053	5.32587
			Kaldness 60%	-16.82953	9.07687
		Kaldness 40%	Kaldness 20%	-5.32587	20.58053
			Kaldness 60%	-9.20220	16.70420
		Kaldness 60%	Kaldness 20%	-9.07687	16.82953
			Kaldness 40%	-16.70420	9.20220

*. The mean difference is significant at the 0.05 level.

Homogeneous Subsets

BOD

		Reaktor Uji	N	Subset for alpha = 0.05
				1
Tukey HSD ^a	Kaldness 60%		3	6.46667
	Kaldness 20%		3	8.10000
	Kaldness 40%		3	14.08000
	Sig.			.151
Duncan ^a	Kaldness 60%		3	6.46667
	Kaldness 20%		3	8.10000
	Kaldness 40%		3	14.08000
				.079



Means for groups in homogeneous subsets are displayed.

a. Uses Harmonic Mean Sample Size = 3.000.

pH

		Subset for alpha = 0.05		
	Reaktor Uji	N	1	2
Tukey HSD ^a	Kaldness 60%	3	7.44333	
	Kaldness 40%	3		7.58000
	Kaldness 20%	3		7.63667
	Sig.		1.000	.362
Duncan ^a	Kaldness 60%	3	7.44333	
	Kaldness 40%	3		7.58000
	Kaldness 20%	3		7.63667
	Sig.		1.000	.188

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.

a. Uses Harmonic Mean Sample Size = 3.000.

COD

		Subset for alpha = 0.05	
	Reaktor Uji	N	1
Tukey HSD ^a	Kaldness 40%	3	188.33333
	Kaldness 20%	3	201.66667



	Kaldness 60%	3	221.66667
	Sig.		.952
Duncan ^a	Kaldness 40%	3	188.33333
	Kaldness 20%	3	201.66667
	Kaldness 60%	3	221.66667
	Sig.		.781

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.

a. Uses Harmonic Mean Sample Size = 3.000.

Amoniak

			Subset for alpha = 0.05
Reaktor Uji	N	1	
Tukey HSD ^a	Kaldness 20%	3	.21100
	Kaldness 40%	3	.21133
	Kaldness 60%	3	1.70933
	Sig.		.119
Duncan ^a	Kaldness 20%	3	.21100
	Kaldness 40%	3	.21133
	Kaldness 60%	3	1.70933
	Sig.		.061

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.

n Sample Size = 3.000.



TSS

			Subset for alpha = 0.05
	Reaktor Uji	N	1
Tukey HSD ^a	Kaldness 20%	3	19.28900
	Kaldness 60%	3	23.16533
	Kaldness 40%	3	26.91633
	Sig.		.246
Duncan ^a	Kaldness 20%	3	19.28900
	Kaldness 60%	3	23.16533
	Kaldness 40%	3	26.91633
	Sig.		.132

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.

a. Uses Harmonic Mean Sample Size = 3.000.

ONEWAY BOD pH COD Amoniak TSS BY Waktu

/STATISTICS DESCRIPTIVES HOMOGENEITY

/MISSING ANALYSIS

/POSTHOC=TUKEY DUNCAN ALPHA(0.05).



Optimized using
trial version
www.balesio.com

Lampiran 6. Pengaruh Waktu Pengamatan Terhadap Penyisihan Parameter Air Limbah

Descriptives

		N	Mean	Std. Deviation	Std. Error	95% Confidence Interval for Mean Lower Bound
BOD	6 Jam	3	13.88333	1.575130	.909402	9.97049
	12 Jam	3	8.26333	5.518807	3.186285	-5.44614
	24 Jam	3	6.50000	4.998310	2.885775	-5.91649
	Total	9	9.54889	5.062733	1.687578	5.65733
pH	6 Jam	3	7.52333	.090738	.052387	7.29793
	12 Jam	3	7.56333	.125831	.072648	7.25075
	24 Jam	3	7.57333	.100167	.057831	7.32451
	Total	9	7.55333	.095131	.031710	7.48021
COD	6 Jam	3	289.66667	21.501938	12.414150	236.25289
	12 Jam	3	274.66667	14.742230	8.511430	238.04494
	24 Jam	3	47.33333	18.009257	10.397649	2.59586
	Total	9	203.88889	118.658591	39.552864	112.67982
Amoniak	6 Jam	3	1.24100	1.714730	.990000	-3.01863
	12 Jam	3	.55400	.556865	.321506	-.82933
	24 Jam	3	.33667	.323341	.186681	-.46656
	Total	9	.71056	1.002928	.334309	-.06036
TSS	6 Jam	3	27.09433	5.535775	3.196081	13.34271
	12 Jam	3	24.15967	5.194334	2.998950	11.25622
	24 Jam	3	18.11667	1.829365	1.056184	13.57227
	Total	9	23.12356	5.564099	1.854700	18.84661



Descriptives

		95% Confidence Interval for Mean		
		Upper Bound	Minimum	Maximum
BOD	6 Jam	17.79617	12.740	15.680
	12 Jam	21.97281	4.510	14.600
	24 Jam	18.91649	2.150	11.960
	Total	13.44045	2.150	15.680
pH	6 Jam	7.74874	7.440	7.620
	12 Jam	7.87591	7.430	7.680
	24 Jam	7.82216	7.460	7.650
	Total	7.62646	7.430	7.680
COD	6 Jam	343.08044	268.000	311.000
	12 Jam	311.28840	258.000	286.000
	24 Jam	92.07081	35.000	68.000
	Total	295.09796	35.000	311.000
Amoniak	6 Jam	5.50063	.251	3.221
	12 Jam	1.93733	.229	1.197
	24 Jam	1.13989	.146	.710
	Total	1.48147	.146	3.221
TSS	6 Jam	40.84596	20.797	31.193
	12 Jam	37.06311	19.149	29.520
	24 Jam	22.66106	16.393	20.036
	Total	27.40050	16.393	31.193



Test of Homogeneity of Variances

		Levene Statistic	df1	df2	Sig.
BOD	Based on Mean	2.542	2	6	.159
	Based on Median	.456	2	6	.654
	Based on Median and with adjusted df	.456	2	3.854	.664
	Based on trimmed mean	2.269	2	6	.185
pH	Based on Mean	.181	2	6	.839
	Based on Median	.096	2	6	.910
	Based on Median and with adjusted df	.096	2	5.597	.910
	Based on trimmed mean	.174	2	6	.845
COD	Based on Mean	.127	2	6	.883
	Based on Median	.110	2	6	.898
	Based on Median and with adjusted df	.110	2	5.546	.898
	Based on trimmed mean	.125	2	6	.885
Amoniak	Based on Mean	7.943	2	6	.021
	Based on Median	.496	2	6	.632
	Based on Median and with adjusted df	.496	2	2.562	.658
	Based on trimmed mean	6.258	2	6	.034
TSS	Based on Mean	1.645	2	6	.269
	Based on Median	.500	2	6	.630
	Based on Median and with adjusted df	.500	2	3.812	.642
	Based on trimmed mean	1.540	2	6	.289



ANOVA (Waktu Pengolahan terhadap Penyisihan Bahan Pencemar)

		Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
BOD	Between Groups	89.207	2	44.604	2.310	.180
	Within Groups	115.843	6	19.307		
	Total	205.050	8			
pH	Between Groups	.004	2	.002	.185	.836
	Within Groups	.068	6	.011		
	Total	.072	8			
COD	Between Groups	110630.889	2	55315.444	165.285	.000
	Within Groups	2008.000	6	334.667		
	Total	112638.889	8			
Amoniak	Between Groups	1.337	2	.669	.598	.580
	Within Groups	6.710	6	1.118		
	Total	8.047	8			
TSS	Between Groups	125.729	2	62.864	3.093	.119
	Within Groups	121.945	6	20.324		
	Total	247.674	8			



Post Hoc Tests

Multiple Comparisons

Dependent Variable		(I) Waktu Pengamatan	(J) Waktu Pengamatan	Mean Difference (I-J)	Std. Error
BOD	Tukey HSD	6 Jam	12 Jam	5.620000	3.587675
			24 Jam	7.383333	3.587675
		12 Jam	6 Jam	-5.620000	3.587675
			24 Jam	1.763333	3.587675
		24 Jam	6 Jam	-7.383333	3.587675
			12 Jam	-1.763333	3.587675
pH	Tukey HSD	6 Jam	12 Jam	-.040000	.087050
			24 Jam	-.050000	.087050
		12 Jam	6 Jam	.040000	.087050
			24 Jam	-.010000	.087050
		24 Jam	6 Jam	.050000	.087050
			12 Jam	.010000	.087050
COD	Tukey HSD	6 Jam	12 Jam	15.000000	14.936904
			24 Jam	242.333333*	14.936904
		12 Jam	6 Jam	-15.000000	14.936904
			24 Jam	227.333333*	14.936904
		24 Jam	6 Jam	-242.333333*	14.936904
			12 Jam	-227.333333*	14.936904
Amoniak	Tukey HSD	6 Jam	12 Jam	.687000	.863449
			24 Jam	.904333	.863449
		12 Jam	6 Jam	-.687000	.863449



			24 Jam	.217333	.863449
		24 Jam	6 Jam	-.904333	.863449
			12 Jam	-.217333	.863449
TSS	Tukey HSD	6 Jam	12 Jam	2.934667	3.680957
			24 Jam	8.977667	3.680957
		12 Jam	6 Jam	-2.934667	3.680957
			24 Jam	6.043000	3.680957
		24 Jam	6 Jam	-8.977667	3.680957
			12 Jam	-6.043000	3.680957



Multiple Comparisons

Dependent Variable		(I) Waktu Pengamatan	(J) Waktu Pengamatan	Sig.	95% Confidence Interval Lower Bound
BOD	Tukey HSD	6 Jam	12 Jam	.329	-5.38797
			24 Jam	.179	-3.62464
		12 Jam	6 Jam	.329	-16.62797
			24 Jam	.878	-9.24464
		24 Jam	6 Jam	.179	-18.39131
			12 Jam	.878	-12.77131
pH	Tukey HSD	6 Jam	12 Jam	.892	-.30709
			24 Jam	.838	-.31709
		12 Jam	6 Jam	.892	-.22709
			24 Jam	.993	-.27709
		24 Jam	6 Jam	.838	-.21709
			12 Jam	.993	-.25709
COD	Tukey HSD	6 Jam	12 Jam	.601	-30.83052
			24 Jam	.000	196.50281
		12 Jam	6 Jam	.601	-60.83052
			24 Jam	.000	181.50281
		24 Jam	6 Jam	.000	-288.16386
			12 Jam	.000	-273.16386
Amoniak	Tukey HSD	6 Jam	12 Jam	.719	-1.96230
			24 Jam	.577	-1.74497
		12 Jam	6 Jam	.719	-3.33630
			24 Jam	.966	-2.43197



		24 Jam	6 Jam	.577	-3.55363
			12 Jam	.966	-2.86663
TSS	Tukey HSD	6 Jam	12 Jam	.718	-8.35952
			24 Jam	.110	-2.31652
		12 Jam	6 Jam	.718	-14.22885
			24 Jam	.301	-5.25119
		24 Jam	6 Jam	.110	-20.27185
			12 Jam	.301	-17.33719



Multiple Comparisons

				95% Confidence Interval
Dependent Variable		(I) Waktu Pengamatan	(J) Waktu Pengamatan	Upper Bound
BOD	Tukey HSD	6 Jam	12 Jam	16.62797
			24 Jam	18.39131
		12 Jam	6 Jam	5.38797
			24 Jam	12.77131
		24 Jam	6 Jam	3.62464
			12 Jam	9.24464
pH	Tukey HSD	6 Jam	12 Jam	.22709
			24 Jam	.21709
		12 Jam	6 Jam	.30709
			24 Jam	.25709
		24 Jam	6 Jam	.31709
			12 Jam	.27709
COD	Tukey HSD	6 Jam	12 Jam	60.83052
			24 Jam	288.16386
		12 Jam	6 Jam	30.83052
			24 Jam	273.16386
		24 Jam	6 Jam	-196.50281
			12 Jam	-181.50281
Amoniak	Tukey HSD	6 Jam	12 Jam	3.33630
			24 Jam	3.55363
		12 Jam	6 Jam	1.96230
			24 Jam	2.86663



		24 Jam	6 Jam	1.74497
			12 Jam	2.43197
TSS	Tukey HSD	6 Jam	12 Jam	14.22885
			24 Jam	20.27185
		12 Jam	6 Jam	8.35952
			24 Jam	17.33719
		24 Jam	6 Jam	2.31652
			12 Jam	5.25119

*. The mean difference is significant at the 0.05 level.

Homogeneous Subsets

BOD

		Waktu Pengamatan	N	Subset for alpha = 0.05
				1
Tukey HSD ^a	24 Jam		3	6.50000
	12 Jam		3	8.26333
	6 Jam		3	13.88333
	Sig.			.179
Duncan ^a	24 Jam		3	6.50000
	12 Jam		3	8.26333
	6 Jam		3	13.88333
	Sig.			.094



pH

			Subset for alpha = 0.05
	Waktu Pengamatan	N	1
Tukey HSD ^a	6 Jam	3	7.52333
	12 Jam	3	7.56333
	24 Jam	3	7.57333
	Sig.		.838
Duncan ^a	6 Jam	3	7.52333
	12 Jam	3	7.56333
	24 Jam	3	7.57333
	Sig.		.598

COD

			Subset for alpha = 0.05	
	Waktu Pengamatan	N	1	2
Tukey HSD ^a	24 Jam	3	47.33333	
	12 Jam	3		274.66667
	6 Jam	3		289.66667
	Sig.		1.000	.601
Duncan ^a	24 Jam	3	47.33333	
	12 Jam	3		274.66667
	6 Jam	3		289.66667
	Sig.		1.000	.354



Amoniak

			Subset for alpha = 0.05
	Waktu Pengamatan	N	1
Tukey HSD ^a	24 Jam	3	.33667
	12 Jam	3	.55400
	6 Jam	3	1.24100
	Sig.		.577
Duncan ^a	24 Jam	3	.33667
	12 Jam	3	.55400
	6 Jam	3	1.24100
	Sig.		.350

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.

a. Uses Harmonic Mean Sample Size = 3.000.

TSS

			Subset for alpha = 0.05
	Waktu Pengamatan	N	1
Tukey HSD ^a	24 Jam	3	18.11667
	12 Jam	3	24.15967
	6 Jam	3	27.09433
	Sig.		.110
Duncan ^a	24 Jam	3	18.11667
	12 Jam	3	24.15967
	6 Jam	3	27.09433
	Sig.		.057

