

Kode>Nama Rumpun Ilmu: 359/Kesehatan Lingkungan

**LAPORAN AKHIR
PENELITIAN KERJASAMA DALAM NEGERI**



JUDUL :

**RANCANG BANGUN MOVING BED BIOFILM REACTOR DENGAN
POLYURETHANE FOAM MEDIA UNTUK PENGOLAHAN AIR LIMBAH
LAUNDRY**

TIM PENGUSUL DAN MITRA

Ketua	: Dr. Ir. Iva Rustanti Eri W, MT.	NIDN.4017096901
Anggota	: Darjati, SKM.,M.Pd.	NIDN.4005125801
	Dr. Khambali, ST, MPPM	NIDN.4003036201
	Dr. Elmi Sumiyarsono, ST, MT (DLH Prop. Jawa Timur)	

**KEMENTERIAN KESEHATAN R.I.
POLITEKNIK KESEHATAN KEMENTERIAN KESEHATAN SURABAYA
JURUSAN KESEHATAN LINGKUNGAN SURABAYA
2020**

**HALAMAN PENGESAHAN
LAPORAN AKHIR PENELITIAN KERJA SAMA DALAM NEGERI**

Judul	Rancang bangun moving bed biofilm reactor dengan polyurethane foam media untuk pengolahan air limbah laundry
Kode>Nama Rumpun Ilmu	: 359/ Kesehatan Lingkungan
Bidang Unggulan P.T.	: Rekayasa Teknologi Tepat Guna
Topik Unggulan	: Pengolahan Air Limbah Rumah Sakit
Ketua TPP	:
a. Nama Lengkap	: Dr.Ir. Iva Rustanti Eri, MT.
b. NIP	: 196909171995022001
c. Jabatan Fungsional	: Lektor
d. Program Studi	: Kesehatan Lingkungan Surabaya
e. Nomor HP	: 081231304567
f. Alamat e-mail	: ivarust.eri@gmail.com
Anggota Peneliti (1)	:
a. Nama Lengkap	: Darjati, SKM.,M.Pd.
b. NIP	: 195812051986032002
c. Program Studi	: Kesehatan Lingkungan Surabaya
Anggota Peneliti (2)	:
Nama Lengkap	: Dr. Khambali, ST, MPPM
NIP	: 196203031984031001
Program Studi	: Kesehatan Lingkungan Surabaya
Ketua TMM	:
a. Nama Lengkap	: Dr. Elmi Sumiyarsono, ST, MT
b. NIP	: 197405241996031001
c. Jabatan Fungsional	: Penata Tk. I
d. Instansi	: DLH Prop. Jawa Timur
e. Nomor HP	: 081341711568
f. Alamat e-mail	: elmi_chaca@yahoo.co.id
Lama Penelitian Keseluruhan	: 1 Tahun
Biaya Penelitian Keseluruhan	: Rp. 60.900.000,-
Biaya Tahun Berjalan	: - dana diusulkan Rp. 60.900.000,- - dana internal PT Rp. - dana institusi lain Rp.

Pakar Penelitian Kerjasama Dalam Negeri

Surabaya, Nopember 2020
Ketua

Prof. Dr. Ririh Yudhastuty, drh, M.Sc
NIP. 1962042919931002

Dr.Ir. Iva Rustanti Eri, MT
NIP. 196909171995022001

Mengetahui,
Ketua Unit Penelitian

Mengesahkan
Direktur Poltekkes Kemenkes Surabaya

Setiawan, SKM.,M.Psi
NIP. 196304211985031005

Drg.Bambang Hadi Sugito, M.Kes.
NIP. 1962042919931002

SURAT PERNYATAAN KETUA PENELITI

Yang bertanda tangan dibawah ini:

Nama : Dr. Ir. Iva Rustanti Eri W, MT
NIDN : 4017096901
Pangkat/Golongan : Pembina / IVA
Jabatan Fungsional : Lektor
No. HP : 081231304567
Email : ivarust.eri@gmail.com

Dengan ini menyatakan bahwa Protokol Penelitian Saya yang berjudul:

Rancang Bangun Moving Bed Biofilm Reactor Dengan Polyurethane Foam Media Untuk Pengolahan Air Limbah Laundry

yang diusulkan dalam skema Penelitian Kerjasama Dalam Negeri untuk tahun anggaran 2020 bersifat original dan belum dibiayai oleh lembaga/ sumber dana lain

Bilamana dikemudian hari ditemukan ketidaksesuaian dengan pernyataan ini, maka saya bersedia dituntut dan diproses sesuai ketentuan yang berlaku dan mengembalikan seluruh biaya penugasan yang sudah diterima ke Kas Negara.

Demikian pernyataan ini dibuat dengan sesungguhnya dan dengan sebenar-benarnya.

Mengetahui,
Ketua Unit PPM

Surabaya, Nopember 2020

Yang menyatakan

Setiawan, SKM.,M.Psi
NIP. 196304211985031005

Dr.Ir. Iva Rustanti Eri, MT
NIP. 196909171995022001

Menyetujui,
Direktur
Poltekkes Kemenkes Surabaya

drg. Bambang Hadi Sugito, M.Kes
NIP. 196204291993031002

DAFTAR ISI

	Halaman
Halaman Sampul	
Halaman Pengesahan	
Surat Pernyataan Ketua Peneliti	
Daftar Isi	i
Daftar Tabel	iii
Daftar Gambar	iv
Abstrak	v
Bab 1. PENDAHULUAN	1
1.1. Latar Belakang	1
1.2. Tujuan penelitian	2
1.3. Manfaat Penelitian	3
1.4. Definisi dan Ruang Lingkup	3
1.5. Kebaruan dan Terobosan	4
Bab 2. TINJAUAN PUSTAKA	7
2.1. Kegiatan Laundry	7
2.2. Mekanisme Penyisihan bahan organik	8
2.3. Phosphate removal	9
2.4. Biofilm	11
2.5. Moving bed Biofilm Reactor (MBBR)	12
2.6. Road map Penelitian	16
2.7. Kerangka Konsep	17
Bab 3. METODE PENELITIAN	18
3.1. Disain Penelitian	18
3.2. Tahapan Penelitian	18
3.2.1. Tahap <i>seeding</i> Mikroba	15
3.2.2. Tahap Batch	19
3.2.3. Tahap Kontinyu	20
3.3. Bagan alir penelitian	22
3.4. Lokasi Penelitian	27
3.5. Variabel Penelitian	27
3.6. Spesifikasi Model Penelitian	27
3.7. Metode Analisis Sample	28
3.8. Analisis Data	29
Bab 4. HASIL PENELITIAN	30
4.1. Hasil penelitian Tahap Batch	30
4.1.1. Karakteristik Air limbah laundry	30
4.1.2. Tahap I	30
4.1.3. Seeding Mikroba pada media PU-Foam	39
4.2. Tahap II	40
4.2.1. Presipitasi P ₂ O ₄ dengan Ca(OH) ₂	40
4.2.2. Prototype MBBR PU-Foam	40
4.2.3. Seeding Mikroba pada media PU-Foam Kontinyu	41
4.2.4. Kondisi Kerja Prototype MBBR	42

4.2.5. Penurunan zat organik	43
Bab 5. PEMBAHASAN	45
5.1. Tahap I (Batch)	45
5.1.1 Performance penurunan phosphat	45
5.1.2. Performance sistem MBBR PU-Foam	46
5.1.3. Performance Pembentukan Biofilm	49
5.2. Tahap II (Kontinyu)	50
5.2.1. Presipitasi P_2O_4 dengan $Ca(OH)_2$	51
5.2.2. Penurunan zat organik	51
Bab 6. KESIMPULAN & SARAN	55
Daftar Pustaka	57
Gambar Penelitian	60
Logbook penelitian	65

DAFTAR TABEL

	Halaman
Tabel 1.1. Paten tentang aplikasi Moving bed biofilm reactor	4
Tabel 2.1. Karakteristik air limbah laundry	8
Tabel 2.3. Perbandingan luas permukaan spesifik media MBBR di pasaran	13
Tabel 2.4. Perbandingan kebutuhan volume tangki MBBR dan volume media	13
Tabel 3.1. Metode Analisis Sample	28
Tabel 4.1. Karakteristik kimia air limbah laundry rumah tangga	30
Tabel 4.1. Hasil Pemeriksaan Tahap Batch Pengendapan Senyawa Phosphat	32
Tabel 4.2. Analisa pH, ORP, COD, Total N dan PO ₄ pada Reaktor R2 (aerobik) setelah penambahan 1 ml Ca(OH) ₂ 5%	33
Tabel 4.3. Analisa pH, ORP, COD, Total N dan PO ₄ pada Reaktor R2 (aerobik) setelah penambahan 2 ml Ca(OH) ₂ 5%	34
Tabel 4.4. Analisa pH, ORP, COD, Total N dan PO ₄ pada Reaktor R2 (aerobik) setelah penambahan 3 ml Ca(OH) ₂ 5%	34
Tabel 4.5. Analisa pH, ORP, COD, Total N dan PO ₄ pada Reaktor R2 (aerobik) setelah penambahan 4 ml Ca(OH) ₂ 5%	35
Tabel 4.6. Analisa pH, ORP, COD, Total N dan PO ₄ pada Reaktor R2 (aerobik) setelah penambahan 5 ml Ca(OH) ₂ 5%	36
Tabel 4.7. Analisa pH, ORP, COD, Total N dan PO ₄ pada Reaktor R2 (aerobik) setelah penambahan 6 ml Ca(OH) ₂ 5%	37
Tabel 4.8. Pembentukan senyawa Hydroxyapatite dari presipitasi P ₂ O ₄	40
Tabel 4.9. Kondisi Kerja <i>Prototype</i> MBBR	42
Tabel 4.10. Analisa COD, Total N dan P ₂ O ₄ proses kontinyu	43
Tabel 4.11. Analisa pH, dan angka ORP proses kontinyu	43

DAFTAR GAMBAR

	Halaman
Gambar 2.1. Pertumbuhan Mikroorganisme	12
Gambar 2.2. Jenis media MBBR	13
Gambar 2.3. Road Map Penelitian MBBR dengan PU Foam Media	16
Gambar 2.4. Kerangka Konsep Penelitian	17
Gambar 3.1. Seeding mikroba MBBR-PU <i>Foam</i>	18
Gambar 3.2. Rangkaian MBBR-PU <i>Foam</i> sistem <i>batch</i>	20
Gambar 3.3. Rangkaian MBBR	21
Gambar 3.4. Diagram alir penelitian	23
Gambar 4.1. <i>Scanning Electron Microscopy</i> (SEM) biofilm media PU-Foam pada Reaktor R ₂	38
Gambar 4.2. <i>Scanning Electron Microscopy</i> (SEM) biofilm media PU-Foam pada Reaktor R ₂	39
Gambar 4.3. <i>Prototype</i> MBBR Sistem	41
Gambar 4.4 Media PU-Foam	41
Gambar 4.5. Proses <i>seeding microbe</i> pada proses kontinyu	42
Gambar 5.1. Grafik pengaruh pembubuhan presipitan Ca(OH) ₂ terhadap konsentrasi phosphat (P ₂ O ₄ , mg/L) dan pembentukan <i>Hydroxyapatite</i> (HA, mg/L)	45
Gambar 5.2. Grafik pengaruh pembubuhan presipitan Ca(OH) ₂ terhadap konsentrasi zat organik (COD, mg/L)	46
Gambar 5.3. Grafik pengaruh pembubuhan presipitan Ca(OH) ₂ 5 ml/L dan 6 ml/L terhadap konsentrasi zat organik (COD, mg/L)	47
Gambar 5.4. Grafik pengaruh pembubuhan presipitan Ca(OH) ₂ terhadap angka Oxydation-Reduction Potential (ORP, mV)	48
Gambar 5.5. Grafik pengaruh pembubuhan presipitan Ca(OH) ₂ terhadap konsentrasi P ₂ O ₄ , mg/L	48
Gambar 5.6. Grafik pengaruh pembubuhan presipitan Ca(OH) ₂ terhadap konsentrasi Berat kering biofilm, gr/L	49
Gambar 5.7. Grafik pengaruh pembubuhan presipitan Ca(OH) ₂ 5% dosis 5 ml/L terhadap COD <i>removal</i> (mg/L), konsentrasi phosphat (P ₂ O ₄) mg/L dan berat kering biofilm (gr/L)	50
Gambar 5.8. Konsentrasi zat organik (COD), mg/L pada R ₂ dan R ₃	51
Gambar 5.9. Konsentrasi Total N, mg/L pada R ₂ dan R ₃	52
Gambar 5.10. Struktur Kimia <i>Nitriilotriacetic</i>	52
Gambar 5.11. Konsentrasi P ₂ O ₄ , mg/L pada R ₂ dan R ₃	53
Gambar 5.12. Angka ORP, mV pada R ₂ dan R ₃	53

RANCANG BANGUN MOVING BED BIOFILM REACTOR DENGAN POLYURETHANE FOAM MEDIA UNTUK PENGOLAHAN AIR LIMBAH LAUNDRY

ABSTRAK

Air limbah laundry umumnya diolah menggunakan pengolahan anaerobik-aerobik dengan lumpur aktif konvensional, yang terbukti tidak efisien untuk menurunkan kandungan senyawa fosfat. Aplikasi MBBR dengan media *polyurethane foam* cocok untuk pengolahan air limbah dengan *organic loading* yang tinggi (high rate), serta memiliki ketahanan dan kemampuannya yang tinggi untuk menguraikan bahan kimia. Tujuan umum penelitian ini adalah membuat *prototype* MBBR-PU Foam untuk menghilangkan zat organik terutama senyawa fosfat non organik (P_2O_4) dalam air limbah laundry.

Penelitian ini merupakan penelitian *true experiment*, yang dilakukan dalam 2 (dua) tahap yaitu *batch* di dalam laboratorium dan sistem kontinu (*prototype*) di lapangan. Air limbah yang digunakan dalam sistem *batch* dan kontinu adalah air limbah dari laundry rumah tangga. *Prototype* MBBR yang akan digunakan dalam penelitian ini merupakan sistem MBBR yang terdiri dari rangkaian 4 *stage reactors*, yang diharapkan dapat memberikan informasi secara jelas tentang kinetika *removal* fosfat (P_2O_4) dan zat organik.

Hasil penelitian tahap *batch*, menunjukkan bahwa penambahan presipitan $Ca(OH)_2$ sangat efektif untuk menurunkan kandungan fosfat non organik air limbah laundry, dan merubah P_2O_4 menjadi senyawa $Ca_{10}(PO_4)_6(OH)_2$ atau *Hydroxyapatite*. Dosis pembubuhan presipitan $Ca(OH)_2$ yang optimum adalah 5 ml/L. Dalam sistem *batch*, terbukti mampu menurunkan senyawa organik, senyawa N, dan senyawa *phospat* (P_2O_4). Dalam sistem kontinu, penurunan senyawa organik MBBR sistem sekitar 63 -78%, sedangkan pada proses denitrifikasi sebesar 48-52%. Rata – rata konsentrasi outlet zat organik yang diambil pada *outlet port* kurang dari 100 mg/L, sehingga sudah memenuhi Baku Mutu SK Gub Jatim No. 72 Tahun 2013. Rata-rata penurunan Total N pada MBBR lebih rendah dibanding pada proses denitrifikasi. Rata-rata penurunan P_2O_4 pada sistem MBBR adalah 19%, sedangkan rata-rata penurunan pada proses denitrifikasi sebesar 55%. Rata – rata konsentrasi P_2O_4 yang diambil pada *outlet port* sebesar 0,78 – 0,86 mg/L dan sudah memenuhi Standart Peraturan Gubernur Jatim No. 72 Tahun 2013.

Penelitian ini dapat diambil kesimpulan bahwa sistem MBBR dengan media *polyurethane foam* dapat diaplikasikan pada pengolahan air limbah laundry. Penggunaan sistem *tube settler* perlu diubah dengan *unstructured biofilter* seperti kaldness atau kaldesh untuk memaksimalkan proses denitrifikasi.

Keyword: MBBR, air limbah, laundry, *polyurethane foam*

DESIGN OF MOVING BED BIOFILM REACTOR WITH POLYURETHANE FOAM MEDIA FOR LAUNDRY WASTE WATER TREATMENT

ABSTRACT

Laundry wastewater is generally treated using anaerobic-aerobic treatment with conventional activated sludge, which has been shown to be inefficient for reducing the content of phosphate compounds. MBBR applications with polyurethane foam media are suitable for wastewater treatment with a high organic loading (high rate), and have high resistance and ability to break down chemicals. The general objective of this research is to make a prototype of MBBR-PU Foam to remove organic substances, especially inorganic phosphate compounds (P_2O_4) in laundry wastewater.

This research was a true experiment, which was conducted in 2 (two) stages, namely a batch in the laboratory and a continuous system (prototype) in the field. The wastewater used in batch and continuous systems is wastewater from household laundry. The MBBR prototype to be used in this study is an MBBR system consisting of a series of 4 stage reactors, which are expected to provide clear information about the kinetics of phosphate removal (P_2O_4) and organic matter.

The results of the batch stage showed that the addition of $Ca(OH)_2$ precipitants was very effective in reducing the non-organic phosphate content of laundry wastewater, and converting P_2O_4 to $Ca_{10}(PO_4)_6(OH)_2$ or Hydroxyapatite compounds. The optimum dose of precipitant $Ca(OH)_2$ was 5 ml/L. In the batch system, it was proven to be able to reduce organic compounds, N compounds, and phosphate compounds (P_2O_4). In a continuous system, the reduction in the organic compound in the MBBR system was about 63-78%, while in the denitrification process it was 48-52%. The average outlet concentration of organic substances taken at the outlet port was less than 100 mg / L, so that it meets the Quality Standard of the East Java Governor's Decree No. 72 of 2013. The average reduction in Total N in MBBR was lower than in the denitrification process. The average reduction in P_2O_4 in the MBBR system was 19%, while the average reduction in the denitrification process was 55%. The average concentration of P_2O_4 taken at the outlet port was 0.78 to 0.86 mg / L and has met the Standard Regulation of the Governor of East Java No. 72 of 2013.

In this study, it could be concluded that the MBBR system with polyurethane foam media could be applied to laundry wastewater treatment. The use of the tube settler system needs to be changed with an unstructured biofilter such as caldness or caldesh to maximize the denitrification process.

Keyword: MBBR, waste water, laundry, polyurethane foam

BAB 1: PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang

Seiring dengan perkembangan ekonomi yang sangat pesat dan kegiatan masyarakat yang sangat padat, waktu yang dibutuhkan untuk melaksanakan kegiatan yang terkait dengan kerumahtanggaan menjadi sangat sedikit. Masyarakat cenderung memilih kegiatan rumah tangga dengan hal – hal yang praktis, contohnya dalam kegiatan mencuci baju diserahkan kepada usaha jasa pencucian baju atau *laundry*. Dewasa ini usaha pencucian baju atau *laundry* di semakin banyak di masyarakat, terutama di kota besar seperti Surabaya.

Proses yang digunakan dalam kegiatan pencucian baju atau *laundry* menggunakan bahan kimia dengan konsentrasi tinggi antara lain fosfat, surfaktan, ammonia dan nitrogen serta kadar padatan tersuspensi (1000 mg/L), BOD (1300 mg/L) dan COD (5000 mg/L) (Ciabatti *et al.*, 2009; Janpoor *et al.*, 2011). Air limbah bekas pencucian baju atau kegiatan *laundry* tersebut apabila dibuang ke badan air atau lingkungan terus menerus tanpa proses pengolahan dengan teknologi yang memadai akan t menyebabkan penurunan kualitas badan air, bahkan dapat menimbulkan masalah pencemaran pada perairan.

Kandungan zat yang paling besar dalam deterjen adalah *sodium tripoly-phosphat* yang berfungsi sebagai *surfactant* dan *builder*, sehingga dalam air limbah laundry banyak mengandung fosfat (Wendland and Albold, 2010). Dengan semakin banyaknya air limbah laundry yang mengandung *surfactant* masuk ke perairan, juga akan menyebabkan penurunan daya dukung badan air serta kemampuan *self purification* perairan. Hal ini tidak sesuai dengan PP No.82 Tahun 2001 tentang pengelolaan kualitas air dan pengendalian pencemaran yang menyatakan bahwa kandungan total fosfat sebagai P yang diijinkan untuk air golongan II adalah sebesar 0,2 mg/l. Dan apabila kandungan fosfat dalam air limbah dari kegiatan *laundry* berlebih, maka hal ini akan dapat mengganggu lingkungan yang antara lain menyebabkan *eutrofikasi*. *Eutrofikasi* adalah suatu fenomena dimana badan air menjadi kaya akan nutrisi terlarut, tetapi menurunkan kandungan oksigen terlarut dan daya dukung badan air terhadap biota air.

Berdasarkan dampak yang dapat terjadi seperti dalam uraian di atas maka diperlukan upaya yang dapat menjaga kualitas perairan atau lingkungan. Untuk itu perlu dilakukan suatu teknologi yang dapat memperbaiki kualitas perairan akibat buangan air limbah *laundry* tersebut. Salah satu teknologi yang digunakan adalah teknologi pengolahan air limbah menggunakan sistem biofilm. Sistem biofilm seperti MBBR (*Moving Bed Biofilm Reactor*) telah diakui sebagai reaktor kompak dan kuat untuk mengolah air limbah, terutama air limbah dengan

konsentrasi nitrogen dan phosphat yang besar (Rusten, Kolkinn and Odegaard, 1997; Casas *et al.*, 2015; Tang *et al.*, 2017; Ooi *et al.*, 2018). Teknologi MBBR juga terbukti dapat menurunkan polutan mikro dalam air limbah (Karaolia *et al.*, 2017; Stylianou *et al.*, 2018), seperti ditunjukkan pada penelitian yang dilakukan oleh Falås *et al.*, (2012) , MBBR lebih efektif menghilangkan senyawa organik yang bersifat asam pada air limbah industri dibandingkan proses pengolahan menggunakan lumpur aktif. Penelitian Falås *et al.*, (2013) dan Escolà Casas *et al.*, (2015) juga menunjukkan bahwa biofilm dalam proses *hybrid biofilm-activated sludge* dapat menghilangkan lebih banyak senyawa *surfactant* daripada proses lumpur aktif. MBBR memiliki efisiensi removal cukup baik dalam mengolah air cucian dengan kadar phosphat yang cukup tinggi dan ditemukan bahwa senyawa organik yang sifatnya *recalcitrant* (sangat sulit terurai) dapat terdegradasi dengan menggunakan MBBR (Casas *et al.*, 2015; Abtahi *et al.*, 2018; El-taliawy, Casas and Bester, 2018; Liu, Wang and Pang, 2018)

Polyurethane Foam media (PU-Foam), adalah media/ rumah tumbuhnya mikroorganisme yang dipakai dalam pengolahan air limbah menggunakan MBBR. PU-Foam memiliki luas permukaan yang lebih tinggi dibanding dengan media MBBR yang umum dipakai sekarang seperti bioball, kaldness, kaldess, dan biochip. PU-foam khusus dipakai dalam aplikasi MBBR untuk menurunkan air limbah industri dengan *organic loading* yang tinggi (high rate), karena luas permukaannya yang besar (sekitar 15.000 – 20.000 m²/m³ air limbah) atau lebih luas 100 x dibanding bioball, 40 x dibanding kaldness/kaldess, dan 10x dibanding biochip (Jain and Pradeep, 2005) .

MBBR-PU *Foam* dapat digunakan untuk air limbah yang memiliki kandungan zat organik tinggi, karena ketahanan dan kemampuannya yang tinggi untuk menguraikan bahan kimia (Moe, W.M. and Irvine, 2000). Karena ketangguhan dan efisiensi dalam menghilangkan senyawa kimia , MBBR-PU *Foam* dianggap sebagai pilihan yang baik untuk mengolah air limbah laundry. Penelitian ini ingin membuat *prototype* MBBR-PU *Foam* untuk menghilangkan zat organik dengan kandungan *phosphat* yang tinggi seperti dalam air limbah laundry, sehingga air buangan yang dimasuk ke badan air tidak menyebabkan penurunan kualitas perairan.

1.2. Tujuan

1.2.1. Tujuan Umum

Tujuan umum penelitian ini adalah rancang bangun *prototype* unit pengolahan air limbah laundry dengan sistem MBBR untuk menghilangkan zat organik dengan kadar *phosphat* yang tinggi.

1.2.2. Tujuan Khusus

Tujuan Khusus adalah:

- 1). Identifikasi karakteristik umum air limbah laundry meliputi pH, BOD, COD, Lemak dan Minyak, MBAS (detergen) ,*Phosphat* sebagai P_2O_4 , dan Total Padatan Tersuspensi (TSS).
- 2). Mengevaluasi efektifitas pembubuhan larutan $Ca(OH)_2$ dalam sistem MBBR unit pengolahan air limbah laundry untuk mengendapkan -Phosphat non organik (P_2O_4)
- 3). Mengevaluasi kemampuan sistem MBBR dengan media *Polyurethane Foam* dalam menurunkan senyawa organik, Senyawa N, dan senyawa *phospat* (P_2O_4) secara batch.
- 4). Mencari model kinetika kecepatan reaksi biodegradasi Phospat (P_2O_4)
- 5). Mengevaluasi kemampuan *prototype* unit pengolahan air limbah laundry sistem MBBR dengan media *Polyurethane Foam* menurunkan senyawa organik, Senyawa N, dan senyawa *phospat* (P_2O_4) secara kontinyu.

1.3. Manfaat Penelitian

- 1). Sebagai masukan bagi pengusaha laundry untuk menggunakan pengolahan air limbah dengan sistem MBBR untuk memperbaiki kualitas air buangan usahanya.
- 2). Sebagai masukan bagi peneliti lain, tentang sistem MBBR sebagai alternatif untuk mengolah air limbah dengan kandungan Phosphat yang tinggi

1.4. Definisi, dan ruang lingkup

1.4.1. Definisi:

- 1). *MBBR* adalah suatu sistem pengolahan air limbah yang terdiri dari tangki aerasi, dimana didalamnya terdapat media plastik khusus sebagai tempat tumbuh atau menempelnya mikroorganisme, yang akan membentuk biofilm. Media akan dicampur ke dalam sistem tangki aerasi tersebut, sehingga memiliki kontak yang cukup baik antara substrat dalam air limbah dan biofilm mikroorganisme.
- 2). Media adalah tempat tumbuh atau melekatnya mikroorganisme, yang terbuat dari bahan khusus dengan kerapatan hampir sama dengan kerapatan air (1 g/cm^3).
- 3). Media yang digunakan dalam sistem MBBR adalah *Polyurethane foam* yang terbuat dari bahan busa *polyurethane* yang permukaannya telah dilapisi dengan material karbon aktif. PU-foam berbentuk bujur sangkar kecil dengan dimensi $20 \times 20 \times 7 \text{ mm}$.

1.4.2. Ruang Lingkup

- 1) Air limbah yang digunakan dalam penelitian ini adalah air limbah yang dikeluarkan dari usaha laundry rumah tangga
- 2) Prototype MBBR direncanakan dengan sistem continue
- 3) Parameter yang diuji meliputi:
 - Zat organik (BOD & COD)
 - Phosphat
 - Total Nitrogen
 - MBAS
 - Padatan tersuspensi

1.5. Kebaruan dan Terobosan

Usaha laundry terutama laundry rumahan umumnya tidak mengolah air limbahnya, dan langsung membuangnya ke badan air atau ke lingkungan. Hanya beberapa usaha laundry besar yang memiliki unit pengolahan anaerobik sejenis septictank sebagai pengolahan air limbah. Pengolahan anaerobik seperti ini terbukti tidak efisien untuk menurunkan kandungan senyawa organik phosphat, karena masih ditemui kandungan phosphat dan nitrogen pada outlet pengolahannya. Pada beberapa negara telah melengkapi pengolahan air limbah laundry dengan sistem MBR (*Membrane Bioreactor*), tetapi sistem MBR kurang cocok di terapkan di Indonesia karena mahal, dan membutuhkan perawatan yang intensif.

Aplikasi sistem biofilm seperti MBBR (*Moving Bed Biofilm Reactors*) telah banyak dipakai untuk menghilangkan senyawa organik, terutama senyawa organik yang bersifat *non biodegradable* dengan *organic loading* yang tinggi (high rate). Beberapa paten tentang aplikasi *Moving bed biofilm reactor* (MBBR) adalah sebagai berikut:

Tabel 1.1 Paten tentang aplikasi *Moving bed biofilm reactor* (MBBR)

Nomer Paten dan Nama Inventor	Judul Invensi
Paten Eropa nomor EP 0772571 B1 tanggal 26 September 2001 oleh inventor Knud Peter Brockdorff	invensi <i>A Reactor for Use in Water Treatment With Micro Film Carrier As Well As A Method for Operating The Reactor</i>
Paten Indonesia nomor permohonan P00201507197 tanggal pengumuman paten 14 Oktober 2016 oleh inventor Takeo Akutsu	invensi Metode Pengolahan Air Limbah dan Sistem Pengolahan Air Limbah
Paten Indonesia nomor permohonan P00201200022 tanggal pengumuman paten 26 Juli 2012 oleh inventor Takumi Obara dan kawan-kawan	invensi Metode Pengolahan Air limbah Biologis dan Sistem Pengolahan Air limbah.

Nomer Paten dan Nama Inventor	Judul Invensi
Paten Indonesia nomor permohonan P00201702967 tanggal pengumuman paten 29 Desember 2017 oleh inventor Masaki Miyake	invensi Metode Pengolahan Air Limbah dan Alat Pengolahan Air Limbah
Paten Amerika Serikat nomor US 7,189,323 B2 tanggal 13 Maret 2007 oleh inventor Anders Lofqvist dan Thomas Welander	invensi <i>Method for Biological Purification of Water Using A Carrier Material</i>
Paten Amerika Serikat nomor US 8,241,717 B1 tanggal 14 Agustus 2012 oleh inventor Steven M. Anderson	invensi <i>Carbon-Based Biofilm Carrier</i>
Paten Amerika Serikat nomor 4,660,399 tanggal 28 April 1987 oleh inventor Frank L. Suter dan Donald. R. Showalter	invensi <i>Mobile Roll-Forming Machine.</i>
Paten Amerika Serikat nomor US 9,758,402 B2 tanggal 12 September 2017 inventor Thorbjorn Westrum dan kawan-kawan	<i>Method and Reactor for Biological Purification of Waste Water.</i>
Paten Amerika Serikat nomor US 2015/0144554 A1 tanggal 28 Mei 2015 oleh inventor Juan Carlos Jose dan kawan-kawan	invensi <i>Waste Water Treatment Process with Moving Bed Bioreactor (MBBR</i>
Paten Indonesia nomor permohonan WO00201303686 tanggal pengumuman paten 7 Agustus 2014 oleh inventor Yuki Kawabuko dan kawan-kawan	invensi Peranti Pengolahan Air limbah dan Metode Pengolahan Air limbah.
Paten Internasional (WIPO) nomor pengumuman WO 2016/164314 A1 tanggal 13 Oktober 2016 oleh inventor Gerald Sedel dan kawan-kawan	invensi <i>Moving Bed Biofilmreactor for Waste Water Treatment System</i>
Paten Internasional (WIPO) nomor pengumuman WO 2017/153361 A1 tanggal 14 September 2017 oleh inventor Magnus Christensson dan Thomas Welander	invensi <i>Biological Removal for Micropollutants From Waste Water</i>

Berdasarkan Tabel 1.1. terlihat bahwa penelitian tentang aplikasi *moving bed biofilm reactor* dengan media *polyurethane foam* untuk mengolah limbah laundry rumah tangga belum pernah dilakukan. Hingga saat ini belum ada informasi aplikasi MBBR dalam pengolahan air

limbah laundry. Penelitian ini merupakan penelitian lanjutan yang dilakukan untuk mengevaluasi performance *prototype* sistem MBBR dengan media *Polyurethane foam*, sebagai instalasi/unit pengolahan air limbah dengan *organic loading* yang besar. *Prototype* sistem MBBR dengan media *Polyurethane foam* diharapkan cukup efektif untuk menurunkan senyawa *surfactant phosphat* dalam air limbah laundry. Harapan dari peneliti adalah dapat membuat sebuah *prototype* sistem MBBR yang kompak, hemat tempat dan hemat biaya, sehingga dapat diterapkan sebagai unit pengolahan air limbah perkotaan. Hal tersebut yang menjadi kebaruan (*novelty*) penelitian ini, serta memposisikan penelitian ini sebagai pengembangan dan jembatan dengan penelitian yang telah dilakukan sebelumnya.

BAB 2 : TINJAUAN PUSTAKA

2.1. Kegiatan Laundry

Usaha Laundry yang meningkat dewasa ini memberikan dampak pada lingkungan yang sangat signifikan (Ciabatti *et al.*, 2009). Laundry skala hotel dan laundry sudah mempunyai instalasi pengolahan air limbah (IPAL) untuk mengolah air limbahnya, namun laundry skala rumahan belum memikirkan masalah pengolahan air limbahnya dan menjadikan lingkungan sekitar sebagai 'IPAL'. Dengan keterbatasan daya dukung lingkungan maka muncullah masalah pencemaran.

Untuk mendapat keuntungan yang memadai, pengusaha jasa laundry banyak yang menggunakan detergen, pewangi, dan pelembut pakaian curah yang tak jelas asal-usulnya dan sertifikasinya. Produk tersebut jelas bukan bahan yang dijual bebas dipasaran, karena produk-produk dipasaran yang memiliki merk yang terdaftar telah memiliki sertifikasi dan pengujian terhadap dampak lingkungan.

Produk – produk curah tersebut merupakan produk secara ekonomi lebih murah, lebih bersih, lebih lembut dan wangi, serta memberikan hasil cucuannya lebih baik dari deterjen yang ada di pasaran. Bahan yang terkandung dalam detergen salah satunya seperti *Linear Alkyl Benzene Sulfonate* (LAS), surfaktan, Clorin dan golongan amonium kuartener yang dapat menimbulkan dampak negatif bagi lingkungan dan kesehatan. Golongan ammonium kuartener dapat membentuk senyawa nitrosamin yang bersifat karsinogenik, iritasi pada kulit, memperlambat proses penyembuhan dan katarak pada orang dewasa. Kandungan fosfat pada detergen juga dapat menyebabkan timbulnya eutrofikasi, atau alga bloom diperairan. Busa yang ditimbulkan dapat menimbulkan efek pada permukaan perairan karena menghambat masuknya atau menurunkan kelarutan oksigen di udara dengan air, sehingga oksigen terlarut menjadi turun dan kondisi air menjadi septik, bau dan berwarna kehitaman. Akibat dari kondisi tersebut adalah organisme aerobik di perairan akan mati.

Air limbah yang dihasilkan dari proses laundry mempunyai komposisi dan kandungan yang bervariasi. Hal ini disebabkan variasi kandungan kotoran di pakaian, komposisi dan jumlah deterjen yang digunakan serta teknologi yang dipakai. Selain itu terdapat perbedaan konsentrasi antara air limbah laundry yang dihasilkan dari rumah tangga dengan jasa laundry. Untuk jasa laundry, kandungan air limbahnya mengandung deterjen dengan jumlah yang lebih sedikit, dikarenakan pemakaian yang lebih ekonomis dan juga penggunaan peralatan pelunasan air. Karakteristik dari air limbah laundry yang diperoleh dari beberapa kegiatan dapat dilihat pada Tabel 2.1.

Tabel 2.1. Karakteristik air limbah laundry dari kegiatan domestik, industrial dan laundry

Parameter	Domestik Laundry	Industrial Laundry	Hospital Laundry
pH	9,3 - 10	9 - 11	11,4 – 11,6
<i>Electro Conductivity</i> (EC), $\mu\text{S}/\text{cm}$	190 - 1400	640 - 3000	808 – 2000
TDS, mg/L	400 - 6000	420	456 – 800
TSS, mg/L	200 - 987	4 - 7000	66 – 71
<i>Total Hardness</i> (TH), mg/L CaCO_3	-	44	53 - 68
<i>Total Alkalinity</i> (TA), mg/L CaCO_3	83 - 200	128	302 – 375
<i>Total Oil Grease</i> (TOG), mg/L	8,0 - 35	71,5 - 11790	25 – 26
Phosphate, mg/L	4 – 27,6	3,43	10,8 – 167
BOD, mg/L	48 – 1200	218 – 9810	44 – 50
COD, mg.L	375 – 4155	80 – 21200	477 – 876
<i>Turbidity</i> , NTU	14 - 400	40 - 150	87,9

Sumber: Berstein, 1986; Browner *et al.*, 2000; Imhof and Muhlemann, 2005; Seneviratne, 2006; Kist *et al.*, 2008; Amouei *et al.*, 2015

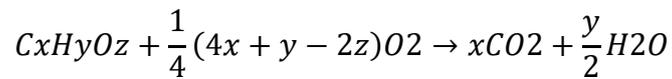
2.2.Mekanisme Penyisihan Bahan Organik

Mekanisme penyisihan bahan organik pada biofilter hampir sama dengan mekanisme penyisihan pada proses lumpur aktif. Penyisihan material organik yang tersuspensi dan yang terlarut terjadi karena proses biosorpsi dan karbon aktif pada aliran yang melewati media dengan cepat. Sedangkan pada aliran yang melewati media dengan waktu retensi yang lama, proses penyisihannya disebut dengan cara sintesa dan respirasi. Sedangkan waktu retensi sangat berhubungan dengan beban hidrolis. Semakin besar beban hidrolis, proses biosorpsi semakin besar pula. Sedangkan semakin kecil beban hidrolis, proses sintesa dan respirasi juga semakin kecil.

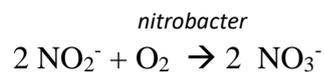
Selain itu, mekanisme kerja dari biofilter bergantung pada aktifitas metabolisme dari bakteri atau jamur. Koloni dari bakteri atau jamur menempati permukaan dari media dan membentuk semacam lapisan film yang juga terdiri dari populasi protozoa dan padatan yang berasal dari air. Alga juga bisa tumbuh pada media biofilter yang terkena cahaya. Populasi dari mikroorganisme juga biasanya ditemukan pada lapisan film. Komposisi dari populasi mikroorganisme bergantung pada sifat air limbah, tingkat pengolahan (*low rate* atau *high rate* biofilter) dan metode operasi dari biofilter. Karena itu, ukuran lapisan film dapat bervariasi mulai dari lapisan bakteri yang tipis pada biofilter yang menerima air limbah dengan kandungan bahan organik yang rendah, sampai lapisan tebal dari jamur pada biofilter yang mengolah air limbah dengan bahan organik tinggi seperti pada air limbah industri.

Pada proses aerob, zat organik yang masih tersisa akan diurai kembali menjadi gas CO_2 , sedangkan NH_3 akan teroksidasi menjadi nitrit dan nitrat, gas H_2S akan diubah menjadi senyawa sulfat. Proses aerobik dapat menurunkan 80-95% zat organik. Secara sederhana

reaksi penguraian senyawa organik secara aerob dapat digambarkan sebagai berikut (von Sperling, 2007):



Selain senyawa organik karbon, dalam air limbah juga terdapat senyawa organik nitrogen. Senyawa organik nitrogen seiring waktu akan berubah menjadi amonia melalui proses *ammonification*. Proses perubahan tersebut tidak mengubah jumlah nitrogen dalam air limbah, dan tidak memerlukan oksigen. Proses oksidasi yang penting untuk menurunkan kandungan NH₃ dalam air limbah adalah proses nitrifikasi. Terdapat 2 (dua) bakteri penting yang berperan dalam proses nitrifikasi yaitu bakteri *Nitrosomonas* dan *Nitrobacter*. Reaksi nitrifikasi yang terjadi adalah sebagai berikut:



Total reaksi nitrifikasi adalah:



Reaksi nitrifikasi diatas menunjukkan bahwa transformasi senyawa nitrogen membutuhkan oksigen bebas (*nitrogenous demand*), dan alkalinitas sehingga air limbah akan menjadi lebih asam. Jumlah total nitrogen dalam air limbah adalah tetap, yang berubah hanyalah bentuk senyawanya saja (dari bentuk NH₃ menjadi bentuk NO_x).

Pada kondisi anoksik (rendah oksigen), keberadaan senyawa nitrat akan digunakan oleh organisme heterotropik sebagai elektron akseptor, sehingga nitrat akan berubah menjadi gas nitrogen. Proses ini dikenal sebagai proses denitrifikasi, dengan reaksi sebagai berikut:



Dari reaksi diatas menunjukkan bahwa proses denitrifikasi dapat menurunkan nitrogen, sehingga jumlah total nitrogen dalam air limbah akan berkurang, karena gas nitrogen yang dihasilkan akan dilepas ke atmosfer.

2.3. *Phosphate removal*

Air limbah domestik umumnya mengandung 5 – 20 mg/L total *phosphate* (PO₄), yang terdiri dari 1-5 mg/L merupakan senyawa PO₄ organik dan sisanya adalah non organik. Pencemaran PO₄ di dalam badan air semakin lama semakin meningkat, hal ini disebabkan oleh kontribusi konsumsi individu terhadap deterjen yang cenderung meningkat. Senyawa P merupakan salah satu penyusun utama deterjen sintetis. Kontribusi konsumsi senyawa P

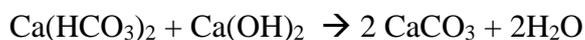
individu bervariasi antara 0,65 – 4,8 g/penduduk/hari, dengan rata-rata sekitar 2,18 g. Bentuk senyawa PO₄ yang biasa ditemukan dalam air adalah (Antov, Sciiban and Petrovic, 2010):

- *Orthophosphate* , merupakan senyawa PO₄ yang tersedia untuk metabolisme biologi tanpa menimbulkan kerusakan lebih lanjut pada lingkungan
- *Polyphosphate*, merupakan molekul dengan 2 atau lebih atom P, oksigen dan atom Hidrogen dan bergabung membentuk molekul kompleks. Secara alamiah senyawa *Polyphosphate* mengalami hidrolisis dan kembali ke bentuk *orthophosphate* dengan proses proses berlangsung sangat lambat.

Pengolahan sekunder dalam instalasi pengolahan air limbah hanya dapat menurunkan 1-2 mg/L, sehingga masih banyak sekali sisa P yang dikeluarkan dari efluen instalasi pengolahan dan menyebabkan *eutrophication* di permukaan badan air. Pengendapan secara kimia dapat digunakan untuk menghilangkan bentuk anorganik PO₄ dengan penambahan ion logam multivalen seperti Kalsium (Ca), Alumunium (Al) dan Iron (Fe).

2.3.1. Kalsium (Ca)

Senyawa yang bisa digunakan adalah larutan kapur Ca(OH)₂, dan bereaksi dengan alkalinitas alami dalam air limbah menghasilkan kalsium karbonat (CaCO₃), serta meningkatkan penurunan material tersuspensi air limbah. Reaksi yang terjadi adalah (Zhang *et al.*, 2009):



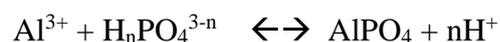
Ketika nilai pH air limbah meningkat melebihi sekitar 10, kelebihan ion kalsium kemudian akan bereaksi dengan fosfat, untuk mengendap dalam *hydroxylapatite* atau *hydroxyapatite* (HA). Reaksi yang terjadi adalah:



Karena reaksinya adalah antara kapur dan alkalinitas dalam air limbah, maka jumlah Ca(OH)₂ yang dibutuhkan secara umum tidak tergantung pada jumlah PO₄ yang ada, tetapi tergantung pada konsentrasi alkalinitas. Dosis kapur yang dibutuhkan dapat diperkirakan 1,5 kali alkalinitas sebagai CaCO₃. Netralisasi mungkin diperlukan untuk mengurangi pH sebelum pengolahan atau pembuangan selanjutnya. Rekarbonasi dengan karbon dioksida (CO₂) digunakan untuk menurunkan nilai pH.

2.3.2. Aluminium dan Besi

Senyawa Alum atau Alumunium Sulfat Hidrat banyak digunakan untuk mengendapkan PO₄ dan membentuk Aluminium PO₄ (AlPO₄). Reaksi dasarnya adalah sebagai berikut (Zhang *et al.*, 2009):



Pada reaksi diatas sangat dipengaruhi oleh konstanta kesteimbangan reaksi yang terkait dengan alkalinitas, dan pH. Dosis Alum yang diberikan adalah fungsi PO₄ removal sehingga efeisiensi proses koagulasi akan turun dengan turunnya konsentrasi PO₄. Kondisi di lapangan menunjukkan bahwa tingkat removal 80-90% dapat dicapai pada dosis koagulan 50-200 mg/L. Penetapan dosis berdasarkan uji jar test. Penggunaan senyawa Alum dapat mempengaruhi mikroorganismenya dalam proses biologi, terutama protozoa dan rotifer bila tingkat dosisnya lebih tinggi dari 150 mg/L. Namun tidak mempengaruhi proses penurunan BOD atau TSS, karena fungsi klarifikasi mikroorganismenya sebagian besar dipengaruhi oleh penurunan material tersuspensi.

Besi Klorida atau Besi Sulfat, dapat juga digunakan untuk menurunkan konsentrasi PO₄, dengan reaksi dasar sebagai berikut:



Ion Fe bergabung membentuk FePO₄, dengan reaksi yang sangat lambat dengan alkalinitas alami tanpa penambahan koagulan lain.

2.4. Biofilm

Biofilm didefinisikan sebagai material organik terdiri dari mikroorganismenya terlekat pada matriks polimer (materi polimer ekstraseluler) yang dibuat oleh mikroorganismenya itu sendiri, dengan ketebalan lapisan biofilm berkisar antara 100 µm-10 mm yang secara fisik dan mikrobiologis sangat kompleks (Nicolaidis *et al.*, 2014). Terbentuknya biofilm adalah karena mikroorganismenya cenderung menciptakan lingkungan mikro. Komposisi biofilm terdiri dari sel-sel mikroorganismenya, produk ekstraseluler, detritus, polisakarida, dan air dengan kandungan sampai 97%. Adapun bahan-bahan pembentuk lapisan biofilm yang lain adalah protein, lipid, dan lektin, dan struktur dari suatu biofilm bentuknya tergantung dari lingkungan. . Lapisan biofilm yang sudah matang atau terbentuk sempurna akan tersusun dalam tiga lapisan kelompok bakteri : lapisan paling luar adalah sebagian besar berupa jamur, lapisan tengah adalah jamur dan algae, dan lapisan paling dalam adalah bakteri, jamur dan algae (Pakula *et al.*, 2011)

Proses degradasi bahan organik secara aerobik pada biofilm tidak jauh berbeda dengan mikroorganismenya tersuspensi. Degradasi substrat terjadi akibat konsumsi substrat dan nutrisi oleh mikroorganismenya pada biofilm, dengan menggunakan oksigen sebagai elektron akseptor apabila proses berjalan secara aerobik. Oleh karena melalui lapisan biofilm, maka konsentrasi substrat terbesar berada pada permukaan biofilm. Pertumbuhan biofilm sangat tergantung pada jenis mikroorganismenya yang tumbuh pada permukaan media, dan jenis media yang digunakan.

Dan secara umum ada 3 fase di dalam daur hidup biofilm (Gambar 2.1.). Fase tersebut adalah pelekatan biofilm pada media, fase pertumbuhan dan fase pelepasan *detachment*.



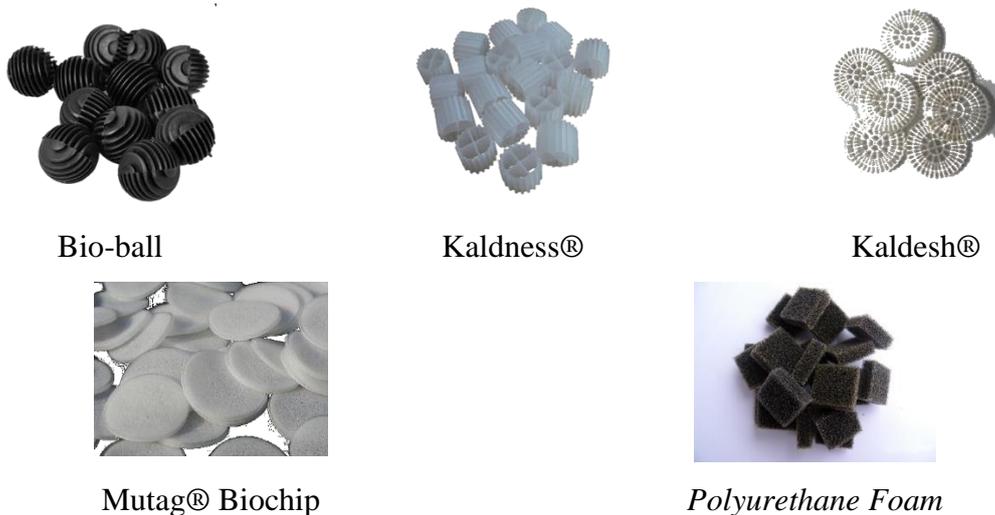
Gambar 2.1 Pertumbuhan Mikroorganisme (Casas, *et al.*, 2015)

2.4. Moving Bed Biofilm Reactor (MBBR)

Sistem MBBR adalah sebuah sistem pengolahan air limbah menggunakan proses aerob dan menggunakan media pembawa khusus sebagai tempat pertumbuhan biofilm. Media pembawa terbuat dari bahan dengan kerapatan mendekati kerapatan air (1 g/cm^3). Contohnya adalah *high density polyethylene* (HDPE) dengan densitas mendekati $0,95 \text{ g/cm}^3$. Media pembawa akan bergerak melayang-layang karena proses fluidisasi oleh udara, sehingga memiliki kontak yang cukup antara substrat dalam air limbah dan biomassa. Untuk mencegah media tersebut *run off* keluar sistem, biasanya *outlet* tangki MBBR dilengkapi saringan.

MBBR sangat efektif untuk menurunkan BOD, amonia, nitrogen dan *micro-pollutant* yang tidak dapat dihilangkan dengan pengolahan dengan lumpur aktif (Casas, *et al.*, 2015; Escolà Casas, *et al.*, 2015). Pertumbuhan *attached* biofilm dalam MBBR lebih lambat dibandingkan pembentukan flok dalam pengolahan lumpur aktif, sehingga MBBR membutuhkan *space* yang lebih kecil dibandingkan proses lumpur aktif (Veolia, 2013; Abtahi *et al.*, 2018).

Media yang dapat dipakai dalam MBBR harus memiliki beberapa sifat penting yaitu luas permukaan spesifik yang cukup besar, terbuat dari bahan yang bersifat inert sehingga tidak mudah korosif dan tahan terhadap proses pembusukan dan perusakan secara kimiawi, fraksi volume rongga yang tinggi, fleksibel, ringan, mudah basah, dan dapat mereduksi cahaya karena bakteri nitrifikasi sangat sensitif terhadap cahaya. Bentuk beberapa jenis media MBBR disajikan pada Gambar 2.1.



Gambar 2.2. Jenis media MBBR (Jess Krarup, Jakob Sørholm, Ole Grønberg, 2015)

Perbandingan luas permukaan spesifik dari berbagai jenis media MBBR dapat dilihat pada Tabel 2.3. Perbandingan kebutuhan volume tangki dan volume media MBBR dapat dilihat pada Tabel 2.4.

Tabel 2.3. Perbandingan luas permukaan spesifik media MBBR di pasaran

No	Jenis Media	Luas Permukaan Spesifik m^2/M^3
1.	<i>Honeycombs modul</i>	150 - 240
2.	Bio-ball	200 – 240
3.	Kaldness®	500
4.	Kaldesh®	1.100
5.	Mutag® biochips	4.000
6.	<i>Polyurethane foam</i>	20.000

Sumber: (Jain and Pradeep, 2005)

Tabel 2.4. Perbandingan kebutuhan volume tangki MBBR dan volume media (pada air limbah dengan COD 2500 mg/L, BOD 1500 mg/L, dan debit 3000 M^3 /hari)

No	Tipe Media MBBR	Volume Tangki (M^3)	Volume Media (M^3)	<i>Hydraulic Retention Time</i> (HRT), (jam)	Lama Aerasi, (jam)	% Volume
1.	Bio-ball	5.000	3.000	40	40	80
2.	Kaldness®	4.000	1.200	32	32	64
3.	Kaldesh®	2.182	545	17,45	17,45	35
4.	Mutag® Biochip	1.200	120	9,6	9,6	19
5.	<i>Polyurethane Foam</i>	600	30	4,8	4,8	10

Sumber: (Rusten, Kolkinn and Odegaard, 1997)

Pada Tabel 2.3 dan Tabel 2.4, menunjukkan bahwa *Polyurethane foam* memiliki luas permukaan spesifik yang paling besar dibanding media MBBR yang lain, sehingga membutuhkan volume tangki dan media yang paling kecil, serta HRT dan lama aerasi yang

singkat. *Polyurethane foam* terbukti efisien untuk mengolah air limbah, bahkan air limbah dengan kandungan zat organik yang sangat tinggi (*high rate*).

2.5. Kinetika Reaksi

2.5.1. Pengertian Kinetika Reaksi

Kinetika reaksi mempelajari laju reaksi kimia secara kuantitatif dan mempelajari faktor-faktor yang mempengaruhi laju reaksi tersebut. Laju reaksi kimia adalah jumlah mol reaktan per satuan volume yang bereaksi dalam satuan waktu tertentu. Bila dibuat sebuah kurva penurunan konsentrasi reaktan sebagai fungsi waktu, maka akan diperoleh kurva bahwa *slope* kurvanya pada setiap titik selalu negatif, karena konsentrasi reaktan selalu menurun. Jadi laju reaksi pada setiap titik sepanjang kurva = $-dC/dt$. Tetapi apabila laju reaksi dituliskan sebagai laju pembentukan produk, maka laju reaksi akan bernilai positif. Jika konsentrasi produk setelah reaksi berlangsung t detik adalah x mol dm^{-3} , maka laju reaksinya $+dx/dt$. Pengukuran kinetika reaksi pertama kali dilakukan oleh Wichelny menyimpulkan bahwa laju reaksi pada setiap waktu sebanding dengan konsentrasi (C) yang tersisa pada setiap waktu, secara matematik dapat dituliskan $-dC/dt = k.C$, dan $dC/dt =$ sering kali disebut sebagai *differential rate expression* dan k = konstante laju reaksi (Fogler, 2004; Turányi and Tomlin, 2015).

2.5.2. Laju Reaksi

Bentuk persamaan laju reaksi yang lebih umum adalah : Laju = $k[A]^x [B]^y [C]^z \dots$ dan seterusnya dan orde reaksi keseluruhan merupakan jumlah semua pangkat yang terdapat dalam persamaan laju reaksi, orde reaksi total : $x + y + z + \dots$ dan seterusnya. Hukum laju reaksi : laju reaksi dinyatakan sebagai perubahan konsentrasi zat pereaksi atau produk reaksi setiap satuan waktu.

$$\text{laju reaksi} = \frac{\text{perubahan konsentrasi}}{\text{waktu yang diperlukan untuk perubahan}} = \pm \frac{dx}{dt}$$

Tanda negatif jika x adalah pereaksi dan tanda positif digunakan jika x adalah produk reaksi. Laju keseluruhan dari suatu reaksi kimia pada umumnya bertambah jika konsentrasi salah satu pereaksi dinaikkan. Hubungan laju reaksi dan konsentrasi dapat diperoleh dari data eksperimen. Untuk reaksi, $A + B \rightarrow$ produk dapat diperoleh bahwa laju reaksi dapat berbanding lurus dengan $[A]^x$ dan $[B]^y$, atau :

$$\text{laju} = k [A]^x [B]^y$$

Dimana : k = tetapan laju reaksi

x dan y = bilangan yang menyatakan orde ke x terhadap A dan orde y terhadap B

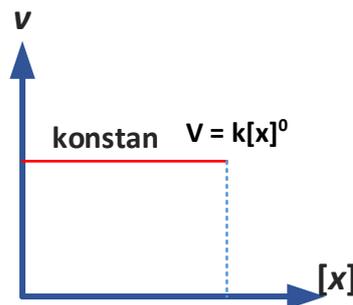
Hukum laju diperoleh secara eksperimen dan tidak bergantung pada persamaan stoikiometri Orde reaksi adalah jumlah pangkat konsentrasi dalam bentuk diferensial. Secara

teoritis orde reaksi merupakan bilangan bulat kecil, namun dalam beberapa hal pecahan atau nol. Pada umumnya orde reaksi terhadap suatu zat tertentu tidak sama dengan koefisien dalam persamaan stoikiometri reaksi.

A. Reaksi Orde Nol

Suatu reaksi disebut orde ke nol terhadap suatu pereaksi jika laju reaksi tidak dipengaruhi oleh konsentrasi pereaksi tersebut. Jika $[A]$ adalah konsentrasi dan $[A]_0$ adalah konsentrasi pada saat $t = 0$, maka:

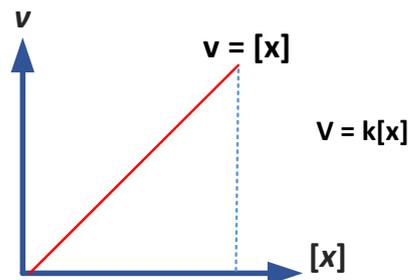
$$-\frac{d[A]}{dt} = k, \text{ dan hasil integral } [A]_0 - [A] = kt$$



B. Reaksi Orde Satu

Suatu reaksi orde satu dapat dinyatakan dengan $-\frac{d[A]}{dt} = k[A]$, dengan hasil integral untuk memperoleh hubungan antara konsentrasi pereaksi terhadap waktu adalah:

$$\ln \frac{[A]_0}{[A]} = kt$$

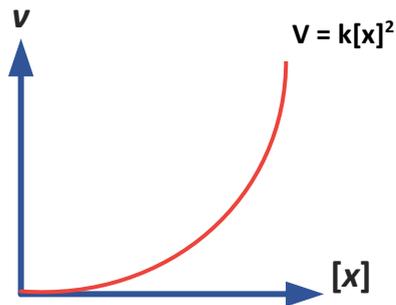


Pada orde reaksi satu, pertambahan laju reaksi sama dengan perubahan konsentrasi zat. Apabila konsentrasi reaktan reaksi orde satu dikali faktor n , maka nilai laju reaksinya adalah n kali lebih besar.

C. Reaksi Orde Dua

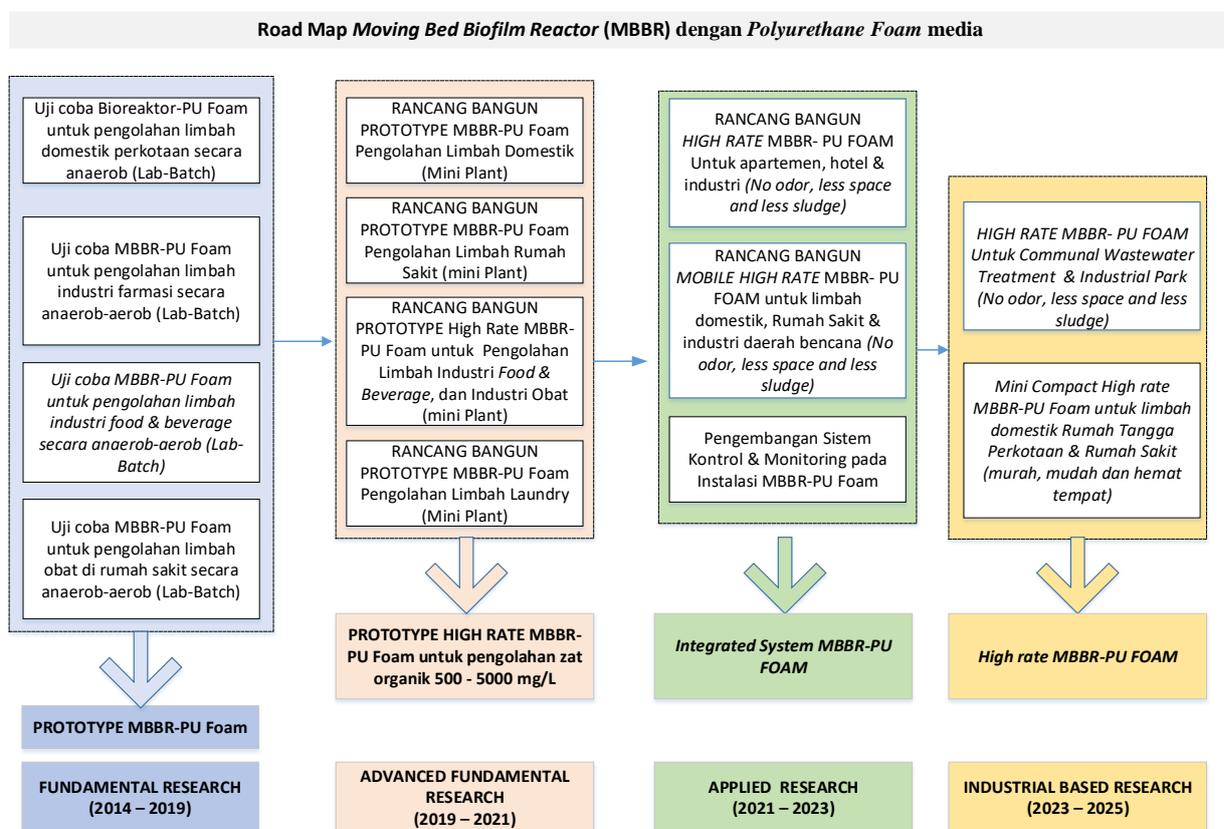
Suatu reaksi orde dua dapat dinyatakan dengan $-\frac{d[A]}{dt} = k[A]^2$, dengan hasil integral untuk memperoleh hubungan antara konsentrasi pereaksi terhadap waktu adalah:

$$\frac{1}{[A]} - \frac{1}{[A]_0} = k.t$$



Apabila konsentrasi reaktan reaksi orde satu dikali faktor n , maka nilai laju reaksinya adalah n^2 lebih besar.

2.6. Road Map Penelitian

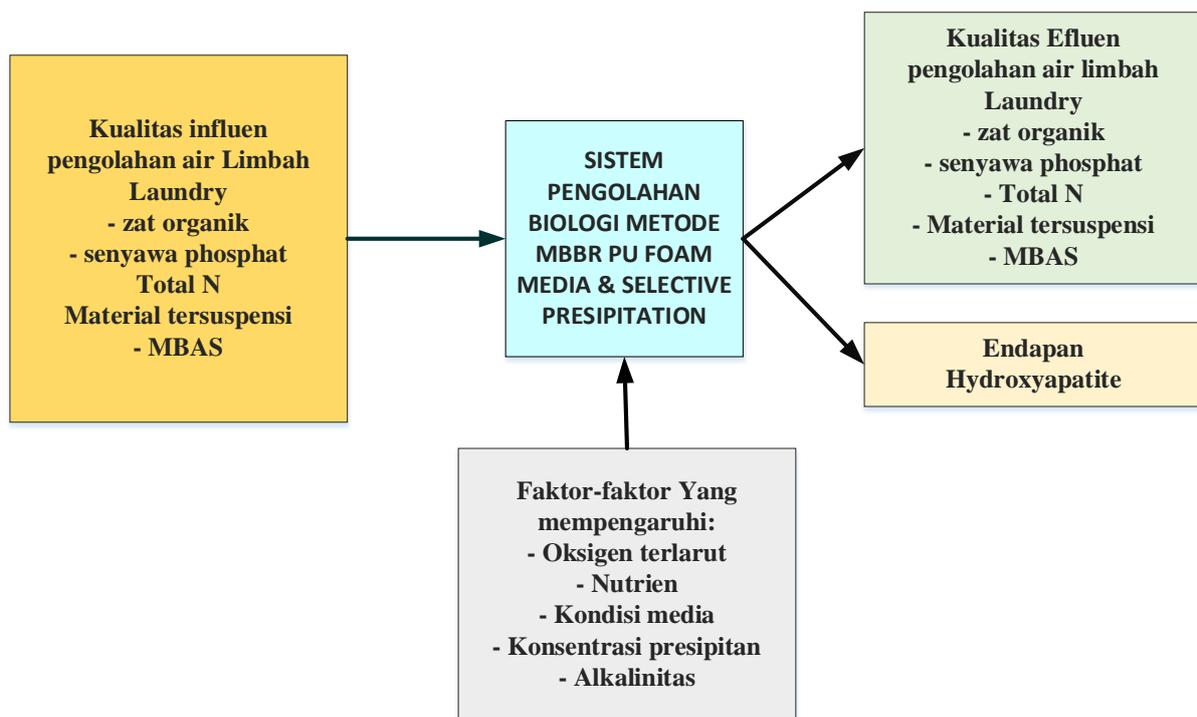


Gambar 2.3. Road Map Penelitian MBBR dengan PU Foam Media

Pada Gambar 2.2 terlihat bahwa penelitian yang diajukan ini merupakan bagian dari Peta Penelitian *High Rate MBBR* dengan media *polyurethane foam*. Tujuan akhir dari peta penelitian adalah produk *High Rate MBBR* yang murah, mudah perawatan, hemat tempat, dan mampu mengolah air limbah dengan kandungan zat organik tinggi (>500 mg/L).

2.7. Kerangka Konsep Penelitian

Kerangka konsep penelitian yang dilakukan ini disajikan pada Gambar 2.3. Air limbah laundry mengandung zat organik, senyawa fosfat, material tersuspensi, senyawa *methyl benzena alkyl sulphonate* (MBAS) dan senyawa nitrogen berbentuk amonium, nitrit dan nitrat. Sistem pengolahan air limbah yang digunakan adalah gabungan sistem *selective precipitation* dan pengolahan biologi menggunakan metode *Moving Bed Biofilm Reactor* (MBBR) dengan media *Polyurethan Foam* (PU-Foam). *Selective precipitation* yang dimaksud dalam penelitian ini adalah pengendapan selektif senyawa fosfat non organik yang diukur sebagai P_2O_4 menggunakan larutan $Ca(OH)_2$ sebagai presipitan. Endapan yang terbentuk adalah senyawa *hydroxyapatite* ($Ca_{10} (PO_4)_6 (OH)_2$). Faktor – faktor yang mempengaruhi kinerja sistem pengolahan adalah konsentrasi oksigen terlarut, nutrien, kondisi media, konsentrasi presipitan serta konsentrasi alkalinitas dalam air limbah.



Gambar 2.4. Kerangka Konsep Penelitian

Kualitas efluen pengolahan air limbah laundry diukur sebagai konsentrasi zat organik, senyawa fosfat, total nitrogen, material tersuspensi dan senyawa MBAS, dan dibandingkan dengan Peraturan Gubernur Jatim No. 72 Tahun 2013. Endapan hydroxyapatite dianalisa untuk mengevaluasi efektifitas proses selective precipitation dari P_2O_4

BAB 3. METODE PENELITIAN

3.1. Disain Penelitian

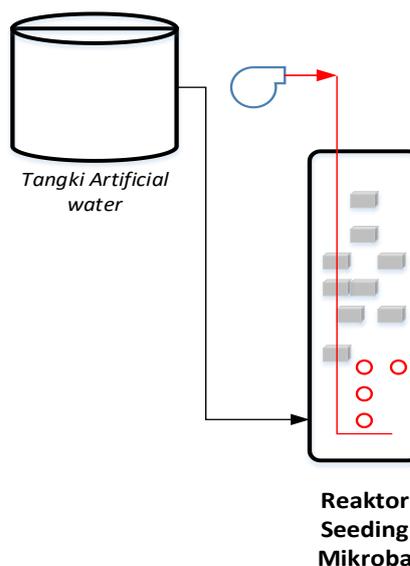
Penelitian ini merupakan penelitian *true experiment*, yang bertujuan untuk membuat *prototype* MBBR dengan media *Polyurethane foam* (MBBR-PU Foam), yang dapat menghilangkan zat organik dan fosfat dalam air limbah laundry sistem kontinu (*prototype*) dengan simulasi. Air limbah yang digunakan dalam sistem kontinu adalah air limbah asli yang dikeluarkan dari *laundry* rumah.

Prototype MBBR yang akan digunakan dalam penelitian ini merupakan sistem MBBR yang terdiri dari rangkaian 4 *stage reactors*, yang diharapkan dapat memberikan informasi secara jelas tentang kinetika *removal* zat organik terutama *surfactant phosphat*, termasuk proses nitrifikasi dan denitrifikasi air limbah laundry.

3.2. Tahapan Penelitian

3.2.1. Tahap Seeding Mikroba

Tahap *seeding* mikroba dilakukan secara *batch* dalam laboratorium, dengan menggunakan reaktor volume 15 L. Didalam reaktor telah diberi media PU-Foam sebanyak 5-10%. Bahan kimia yang dibutuhkan untuk proses *seeding* sesuai dengan OECD *Guideline for Testing of Chemicals, Part 303B- Biofilm* (Polesel *et al.*, 2017) adalah: $\text{CaCl}_2 \cdot \text{H}_2\text{O}$, NaCl , K_2HPO_4 , $\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$, NaHCO_3 , KMnO_4 , NaOAc , *peptone*, *meat extract*, dan *sucrose*. Semua bahan kimia ini merupakan *analytical grade*. PH pada proses *seeding* dijaga sekitar 7-8, dan oksigen terlarut (DO) >5 mg/L. Proses *seeding* mikroba dilakukan selama 2 hari.



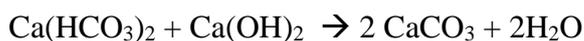
Gambar 3.1. Seeding mikroba MBBR-PU Foam

3.2.2. Tahap Batch

Tahap *batch* dilakukan dalam laboratorium, dengan menggunakan rangkaian MBBR- PU *foam* skala kecil. Rangkaian MBBR-PU *foam* terdiri dari 2 reaktor yaitu R1 dan R2, dilakukan untuk mengevaluasi *performance removal* zat organik dan fosfat (R2) serta proses pengendapan senyawa *Polyphosphate* (R1). Volume masing-masing reaktor adalah 10 L. Volume media PU-foam untuk masing-masing reaktor tetap 5%. Air limbah laundry yang dipakai merupakan *artificial water* yang telah dibubuhi oleh senyawa detergen tertentu dengan dosis tertentu pula.. Pengujian dilakukan secara berkala sesuai waktu yang telah ditentukan, sehingga diperoleh kinetika reaksi biodegradasi pada setiap reaktor.

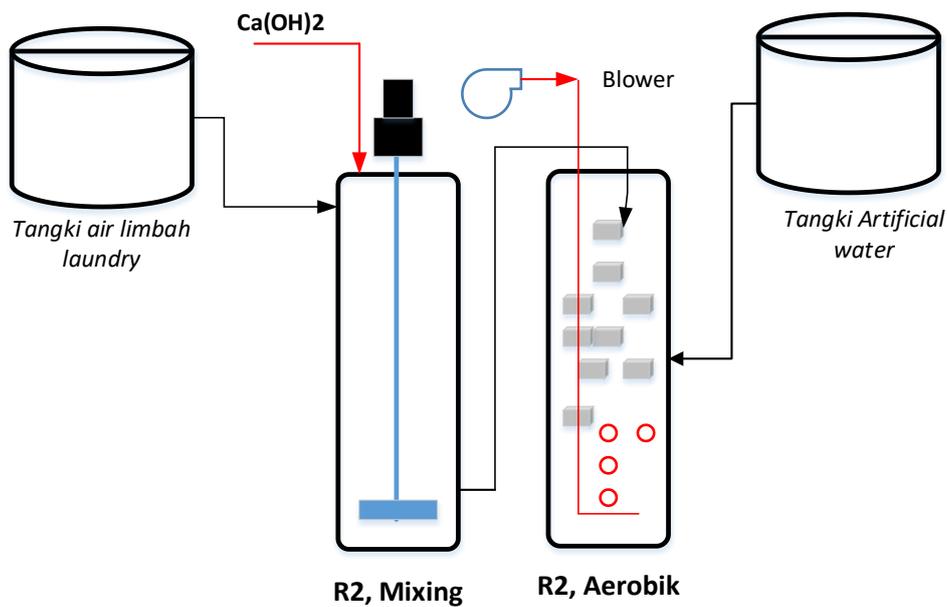
Bahan kimia yang dibutuhkan untuk *artificial water* sesuai dengan OECD *Guideline for Testing of Chemicals, Part 303B- Biofilm* (Polesel *et al.*, 2017) adalah:CaCl₂.H₂O, NaCl, K₂HPO₄, MgSO₄. 7H₂O, NaHCO₃, KMnO₄, NaOAc, *peptone*, *meat extract*, dan *sucrose*. Semua bahan kimia ini merupakan *analytical grade*.

Pada tahap batch ini, senyawa *anorganic polyphosphate* di dalam air limbah di endapkan dengan pembubuhan Ca(OH)₂ 5% dengan variasi dosis 1,2,3,4,5,6 ml/L. Pembubuhan larutan Ca(OH)₂ 5% diikuti dengan pengadukan cepat dengan *G* sebesar 390 det⁻¹ selama 1 menit, selanjutnya dilakukan pengadukan lambat dengan variasi *G* yaitu 100-75-25 selama 15 menit. Pada saat pengadukan cepat terbentuklah flok-flok yang kemudian akan menjadi endapan *hydroxylapatite* atau *hydroxyapatite* (HA) atau Ca₁₀ (PO₄)₆ (OH)₂ yang berwarna putih, mengikuti reaksi:



Diharapkan senyawa *anorganic polyphosphate* dapat diturunkan hingga 95%. Dosis Ca(OH)₂ 5% yang dibubuhkan tergantung pada alkalinitas air limbah. Selanjutnya endapan HA di sedimentasi dan filtrat yang masih mengandung sisa orthophosphat dialirkan pada reaktor aerobik (R₂) untuk di degradasi secara biologi.

Pada reaktor R₂ dijaga pH optimum proses aerobik sekitar 7-8 dengan menambahkan nitrat (NO₃) dan NaHCO₃. Pemberian *artificial water* untuk mensuplai nutrisi dan mikronutrien pada air limbah. Jumlah total N dijaga sekitar 20 mg N/L. Perlakuan pada reaktor R₂ berlangsung selama 48 jam. Pengambilan sample pada titik sample yang telah ditentukan menggunakan pipet kaca sebanyak 10 ml, pada 1 menit, 20 menit, 1 jam, 2 jam, 3 jam, 4 jam, 8 jam, 10 jam, 12 jam, 24 jam, dan 48 jam, dengan pengulangan sebanyak 3 kali. Setiap sample diperiksa pH, angka *Oxydation-Reduction Potential* (ORP), COD, Total N, P₂O₄ dan berat kering biofilm dalam media PU-Foam.

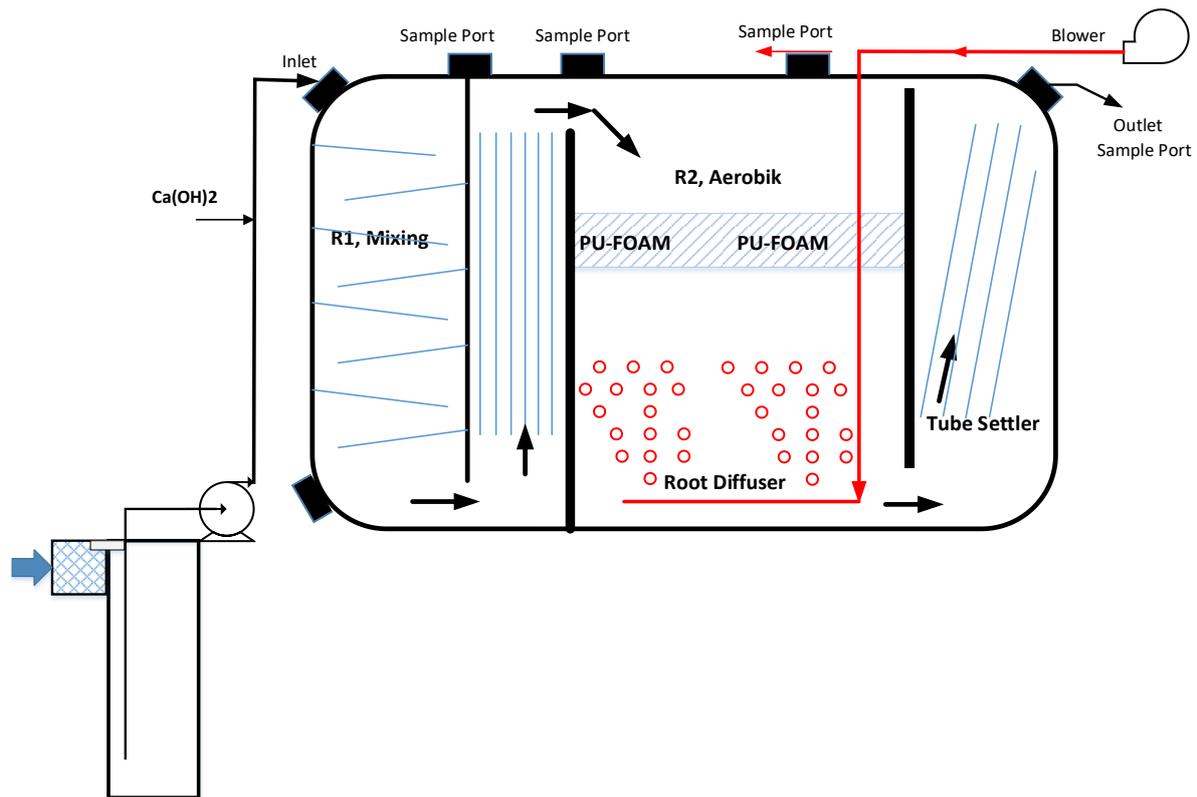


Gambar 3.2. Rangkaian MBBR-PU *Foam* sistem *batch*

3.2.3. Tahap *Continuous System*

Pada tahap ini dilakukan secara kontinyu dan mengikuti kondisi *real* air limbah laundry rumahan. Pada tahap ini bertujuan untuk mengevaluasi *prototype* MBBR-PU *Foam* pada kondisi sistem yang sebenarnya, sehingga diperoleh informasi kinerja potensi biodegradasi dari sistem MBBR tersebut. Rangkaian MBBR-PU *Foam* terdiri dari:

- R₁, reaktor untuk mixing dan sedimentasi, volume 50 L
- R₂, reaktor degradasi zat organik dan phosphat dengan proses aerobik, volume 175 L
- R₃, reaktor proses pengendapan sekaligus proses *denitrifikasi*, menggunakan *plate settler*, volume 50 L
- R₂ berisi media PU-foam sebanyak 5 % volume reaktor.
- *Hydraulic retention time* (HRT) untuk R₁ adalah 1 jam, sedangkan R₂ adalah 3 jam.
- Proses aerasi hanya diberikan pada R₂ karena diharapkan terjadi proses nitrifikasi, sedangkan R₃ merupakan proses anoksik, sehingga tanpa aerasi.
- Apabila kandungan total N pada *treated water* yang keluar dari R₃ masih diatas 10 mg/L maka diberikan tambahan sumber karbon yaitu *ethanol* 20%.



Gambar 3.3. Rangkaian MBBR

Konsentrasi zat organik pada sistem limbah laundry yang berfluktuatif maka monitoring dan pengambilan sample pada hari ke 1 (satu) disesuaikan dengan HRT masing-masing reaktor, yaitu setiap 3 jam untuk R₁ dan setiap 6 jam untuk R₂. Pengambilan sample dilakukan menggunakan pipet kaca 20 ml sebanyak 3 (tiga) kali untuk masing-masing sample.

Parameter umum yang dimonitor secara berkala adalah suhu, pH, angka ORP, COD, total N dan P₂O₄. Sample untuk analisa BOD perlu diawetkan jika tidak langsung dianalisa, sedangkan sample COD, Total N dan P dianalisa pada hari yang sama. Periode pengambilan sample adalah hari ke 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, dan 14

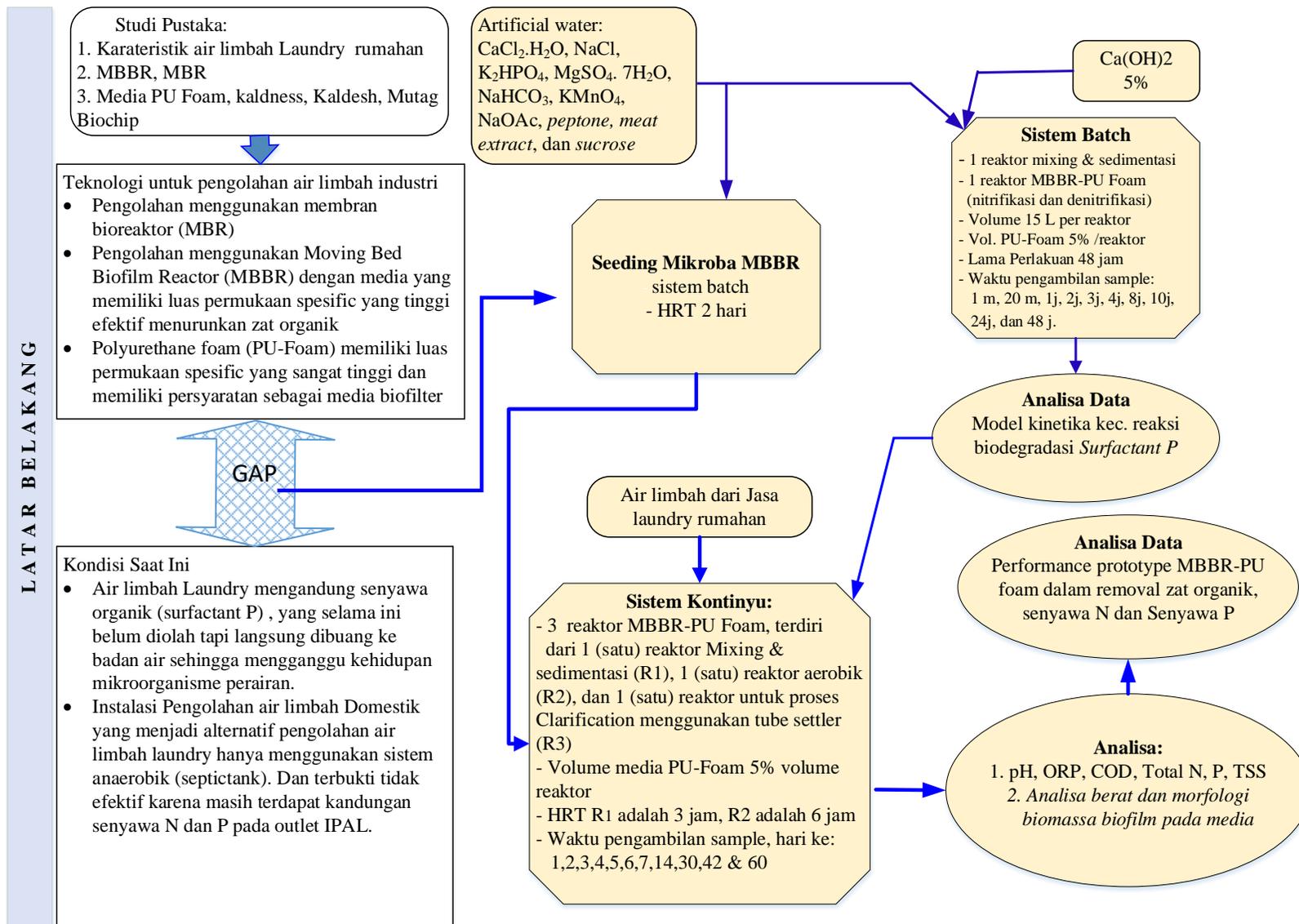
Analisa biomassa dari biofilm media dilakukan secara gravimetri dengan cara terlebih dahulu mengambil 10 buah media untuk setiap reaktor dan meletakkannya pada *aluminium foil cup*, mengeringkannya pada suhu 105°C selama semalam, menimbang dan mencatat sebagai berat awal. Selanjutnya mencuci media menggunakan tetesan larutan NaOH 2M dan membilasnya dengan *de-ionised water*. Setelah proses mencuci, dilanjutkan kembali dengan proses mengeringkan media pada suhu 105°C selama semalam, menimbang dan mencatat sebagai berat setelah pencucian. Berat biomassa dalam media adalah selisih berat sebelum dan sesudah pencucian. Selanjutnya jumlah biomassa per luas permukaan spesifik media dapat

diketahui. Periode pengambilan sample untuk analisa biomass adalah minggu ke 2, 4, 6, 8, dan 15.

Selain analisa biomassa, biofilm dalam media PU-foam juga diperiksa morfologinya menggunakan *Scanning Electron Microscopy* (SEM). Prosedur preparasi analisa morfologi biofilm menggunakan SEM mengikuti cara yang dilakukan oleh Abtahi *et al.*, (2018), yaitu mengelupas biofilm yang menutupi media secara hati-hati, dan mengguntingnya menjadi beberapa potongan kecil. Setiap potongan direndam dalam 2 mL *glutaraldehyde* 4%, 1 mL *phosphate buffer* (pH 7,4) dan 1 mL *demineralized water* selama 20 menit. Selanjutnya dilakukan 2 (dua) kali pencucian dengan 1 mL *phosphate buffer*, 2 mL *sucrose* 0,4M dan 1 mL *demineralized water* selama 15 menit. Sample potongan biofilm yang telah dicuci selanjutnya dikeringkan dengan cara merendam berturut-turut ke dalam 2 mL larutan *aceton-water* (50%:50%) selama 5 menit, 2 mL larutan *aceton-water* (70%:30%) selama 5 menit, dan 2 mL larutan *aceton – hexamethyldisilazane* (HMDS) (50%:50%) selama 5 menit. Selanjutnya sample di keringkan semalam bersamaan dengan evaporasi HMDS.

3.3. Bagan Alir Penelitian

Pada Gambar 3.3. menunjukkan bahwa hasil penelitian adalah *performance prototype* MBBR-PU Foam dalam menurunkan phosphat



Gambar 3.4. Diagram alir penelitian

3.4. Lokasi Penelitian

Proses seeding mikroba dilakukan di Laboratorium Kesehatan Lingkungan, sedangkan penelitian skala kontinyu dilakukan di industri Jasa Laundry yang ditentukan oleh Balai Lingkungan Hidup Propinsi Jatim. Analisa *Scanning Electron Microscopy* (SEM) dilakukan di Laboratorium Energi ITS. Analisa pH, suhu, angka ORP, COD, Total N, dan Phosphat dilakukan di Laboratorium Terpadu Poltekkes Kemenkes Surabaya.

3.5. Variabel Penelitian

3.5.1. Tahap Batch

Menggunakan air limbah asli dari kegiatan laundry rumah tangga. Variabel bebas pada tahap Batch adalah dosis pembubuhan larutan $\text{Ca}(\text{OH})_2$ yaitu 1 ml/L, 2 ml/L, 3 ml/L, 4, ml/L, 5 ml/L dan 6 ml/L.

Variabel terikat adalah :

1. konsentrasi P_2O_4
2. Perubahan pH
3. Konsentrasi zat organik,
4. Konsentrasi total N

3.5.2. Tahap Kontinyu

Variabel bebas pada penelitian ini adalah konsentrasi zat organik diukur sebagai COD, dan Phosphat dalam air limbah jasa laundry.

Variabel terikat adalah :

1. Zat organik (BOD & COD)
2. Phosphat sebagai P_2O_4
3. Total Nitrogen
4. Padatan tersuspensi

3.6. Spesifikasi Model Pengolahan

3.6.1. Tahap Batch

- Model reaktor pada sistem MBBR-PU *Foam* untuk penelitian Tahap I (*batch*) terbuat dari plastik dengan volume 15 L, dilengkapi dengan pipa inlet dan *sample port*.
- Terdapat mixing secara manual untuk R_1 (reaktor mixing)
- Terdapat blower, dan pipa diffuser udara untuk R_2 (reaktor aerobik)
- Reaktor R_2 diisi dengan media PU-foam dengan volume 5%

3.6.2. Tahap Kontinyu

- Model reaktor pada sistem MBBR-PU *Foam* untuk penelitian secara kontinyu terbuat dari PVC berbentuk kotak dengan 3 bagian reaktor yaitu R_1 terdiri dari ruang mixing

dan ruang sedimentasi volume 50 L, R₂ ruang proses pengolahan biologi dengan volume 175 L dan R₃ yang terdiri dari ruang denitrifikasi dan sedimentasi akhir dengan volume 50 L. Masing-masing ruang reaktor dilengkapi dengan pipa inlet – outlet, *sample port*, pipa *sludge drain*.

- R₂ berisi media PU-foam sebanyak 5 % volume reaktor.
- *Hydraulic retention time* (HRT) untuk R₁ adalah 1 jam, sedangkan R₂ adalah 3 jam.
- Proses aerasi hanya diberikan pada R₂ karena diharapkan terjadi proses nitrifikasi, sedangkan R₃ merupakan proses anoksik, sehingga tanpa aerasi.
- Apabila kandungan total N pada *treated water* yang keluar dari R₃ masih diatas 10 mg/L maka diberikan tambahan sumber karbon yaitu *ethanol* 20%.
- Periode pengambilan sample adalah hari ke 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, dan 14

3.7. Metode Analisis Sample

Analisis sample meliputi parameter suhu, pH, Oxydation Reduction Potential (ORP), COD, total N, Phosphat, analisa berat dan morfologi biomassa. Metoda yang digunakan dijabarkan dalam Tabel 3.1.

Tabel 3.1. Metode Analisis Sample

Parameter	Metode Analisis
pH	Potensiometri
ORP	Potensiometri
COD	Spektrofotometer
Nitrogen	Potensiometri
Berat Biomassa	Gravimetri
Morfologi Biomassa	<i>Scanning Electron Microscopy</i> (SEM)

3.8. Analisis Data

Sebelum dilakukan analisis pengaruh, data penelitian terlebih dahulu dilakukan uji normalitas dan uji homogenitas. Uji normalitas dilakukan untuk menjawab hipotesis nol statistik yaitu data penelitian mengikuti distribusi normal. Sedangkan uji homogenitas bertujuan untuk mengetahui varians data bersifat homogen atau heterogen berdasarkan faktor-faktor tertentu yang dilakukan pada penelitian.

Uji asumsi kenormalan data dilakukan dengan metode *Kolmogorov Smirnov*. Metode ini sangat baik digunakan jika setiap nilai hasil satuan percobaan bersifat independen. Konsep dasar dari uji normalitas *Kolmogorov Smirnov* adalah membandingkan distribusi data yang akan diuji kenormalannya dengan distribusi normal baku. Distribusi normal baku adalah data yang telah ditransformasikan ke dalam bentuk *Z-score* dan diasumsikan normal.

Pada uji *Kolmogorov Smirnov*, jika signifikansi (P_{value}) dibawah 0,05 artinya terdapat perbedaan yang signifikan antara data yang diuji kenormalanannya dengan data normal baku. Apabila nilai signifikansi (P_{value}) diatas 0,05 maka tidak terjadi perbedaan signifikan antara data yang diuji dengan data normal baku, yang artinya data yang diuji berdistribusi normal.

Uji homogenitas data dilakukan dengan metode *Levene test*. Pada uji homogenitas dengan *Levene test*, data tidak harus berdistribusi normal namun harus kontinue. Statistik uji *Levene test* adalah:

$$L = \frac{(n-k) \sum_{i=1}^k n_i (m_i - m_{..})^2}{(k-1) \sum_{i=1}^k \sum_{j=1}^{n_i} (x_{ij} - m_i)^2} \quad (3-2)$$

Selanjutnya, apabila data tidak terdistribusi normal atau tidak homogen maka harus ditransformasi terlebih dahulu sehingga data menjadi normal dan homogen. Transformasi data umumnya dilakukan dengan metode *Box-Cox*, yang dinyatakan dalam persamaan:

$$y = \frac{x^\lambda - 1}{\lambda} \quad \text{atau} \quad y = \ln(x) \quad \text{untuk} \quad \lambda=0 \quad (3-3)$$

Nilai λ biasanya dicoba-coba antara -2 sampai dengan 2, hingga hasil transformasi memenuhi syarat distribusi normal dan homogenitas data.

Setelah data terbukti normal dan homogen, maka uji pengaruh masing-masing perlakuan akan dianalisis secara statistik dengan metode *analysis of variance* (ANOVA). Pengujian statistik (uji normalitas, uji homogenitas dan uji ANOVA) untuk mengetahui berapa besar interaksi antar variabel-variabel pengubah pada rancangan penelitian ini dilakukan dengan menggunakan Minitab 17.

BAB 4

HASIL PENELITIAN

4.1. Hasil Penelitian Tahap Batch

4.1.1. Karakteristik Air limbah laundry

Air baku yang dipergunakan dalam penelitian Tahap Batch ini berasal dari air buangan kegiatan industri laundry rumah tangga di Surabaya dengan karakteristik kimia disajikan pada Tabel 4.1

Tabel 4.1. Karakteristik kimia air limbah laundry rumah tangga

Parameter	Satuan	Kadar	Standart PerGub Jatim No. 72 th 2013
BOD ₅	mg/L	380	100
COD	mg/L	798	250
TSS	mg/L	120	100
FOG	mg/L	25	10
MBAS (detergen)	mg/L	18	10
Phosphat (P ₂ O ₄)	mg/L	15	10
pH	-	7,33	6-9

Sumber: Hasi Pemeriksaan Balai Riset dan Standarisasi Industri Surabaya, 2020

4.1.2. Tahap I (*Batch System*)

Tahap I dilakukan secara *batch* dalam laboratorium, dengan menggunakan rangkaian MBBR- PU *foam* skala kecil. Rangkaian MBBR-PU *foam* terdiri dari 2 reaktor yaitu R₁ dan R₂. Pada R₁ dilakukan untuk mengevaluasi *performance removal* senyawa Phosphat anorganik (P₂O₄), dan pembentukan senyawa *hydroxyapatite* (HA). Pada R₂ dilakukan untuk mengevaluasi *performance zat organik removal* dan proses nitrifikasi. Volume masing-masing reaktor adalah 15 L. Volume media PU-foam untuk reaktor R₂ adalah 5% volume air limbah. Sample yang dipakai adalah air limbah asli dari kegiatan laundry rumah tangga. Untuk menjaga kondisi pengolahan aerobik diberikan *artificial water* yaitu aquadest yang telah dibubuhi nutrisi dan *make up* mikroba.

4.1.2.1. Presipitasi P₂O₄ dengan larutan Ca(OH)₂

Pada R₁ merupakan proses mixing dan pengendapan senyawa phosphat non organik (P₂O₄) dengan penambahan Ca(OH)₂ 5% dan dianalisa sebagai P₂O₄ *removal*. Endapan Ca₁₀(PO₄)₆(OH)₂ atau *hydroxylapatite* atau *hydroxyapatite* (HA) yang terbentuk disaring, dikeringkan dan ditimbang. Filtrat yang masih mengandung senyawa orthophosphate dialirkan ke dalam R₂ untuk diaerasi dan didegradasi secara biologi. Perlakuan pada R₂ berlangsung

selama 48 jam. Pengambilan sample sesuai waktu pengambilan yang telah ditentukan menggunakan pipet kaca sebanyak 20 ml, pada 1 menit, 20 menit, 1 jam, 2 jam, 3 jam, 4 jam, 8 jam, 10 jam, 24 jam, dan 48 jam. Setiap sample diperiksa pH, angka ORP, COD, Total N, P_2O_4 dan berat kering biofilm dalam media PU-Foam.

Hasil analisa pengaruh penambahan larutan $Ca(OH)_2$ untuk proses P_2O_4 removal dan pembentukan senyawa HA disajikan pada Tabel 4.1. Pada Tabel 4.1. menunjukkan bahwa konsentrasi P_2O_4 air limbah laundry rumah tangga yang dijadikan air baku sekitar 15,18 – 16,87 mg/L dan pH sekitar 7,12 – 7,69. Pembubuhan larutan $Ca(OH)_2$ 5% sebagai presipitator senyawa phosphat anorganik dapat menaikkan pH air limbah, menurunkan konsentrasi P_2O_4 dan membentuk endapan *hydroxyapatite* (HA) atau $Ca_{10}(PO_4)_6(OH)_2$ yang berwarna putih. Pada pembubuhan larutan $Ca(OH)_2$ 5% dosis 1 ml/L, konsentrasi P_2O_4 berkurang sebesar 32,44% dan rata-rata berat kering senyawa HA yang terbentuk seberat 5,21 mg/L. Pada pembubuhan larutan $Ca(OH)_2$ 5% dosis 2 ml/L, terjadi peningkatan pH larutan sekitar 7,89, peningkatan persentase P_2O_4 removal sebesar 61,57 % dan rata-rata berat kering senyawa HA yang terbentuk seberat 9,89 mg/L. Pada pembubuhan larutan $Ca(OH)_2$ 5% dosis 3 ml/L, pH air limbah meningkat menjadi 8,06 , persentase P_2O_4 removal meningkat menjadi 69,02% dan rata-rata berat kering senyawa HA yang terbentuk seberat 11,09 mg/L. Pada pembubuhan larutan $Ca(OH)_2$ 5% dosis 4 ml/L, pH air limbah meningkat menjadi 8,52, persentase P_2O_4 removal meningkat menjadi 82,46 % dan rata-rata berat kering senyawa HA yang terbentuk seberat 13,41 mg/L. Pada pembubuhan larutan $Ca(OH)_2$ 5% dosis 5 ml/L, pH air limbah meningkat menjadi 8,62, persentase P_2O_4 removal meningkat menjadi 88,46 % dan rata-rata berat kering senyawa HA yang terbentuk seberat 14,21 mg/L. Pada pembubuhan larutan $Ca(OH)_2$ 5% dosis 6 ml/L, pH air limbah meningkat menjadi 8,82, persentase P_2O_4 removal meningkat menjadi 95,8% dan rata-rata berat kering senyawa HA yang terbentuk seberat 15,75 mg/L.

Tabel 4.1. Hasil Pemeriksaan Tahap Batch Pengendapan Senyawa Phosphat

Run	Air Baku		Setelah penambahan Ca(OH) ₂																	
			1 ml Ca(OH) ₂			2 ml Ca(OH) ₂			3 ml Ca(OH) ₂			4 ml Ca(OH) ₂			5 ml Ca(OH) ₂			6 ml Ca(OH) ₂		
	P ₂ O ₄₍₀₎ , mg/L	pH awal	P ₂ O ₄₍₁₎ , mg/L	pH	HA, mg/L	P ₂ O ₄₍₂₎ , mg/L	pH	HA, mg/L	P ₂ O ₄₍₃₎ , mg/L	pH	HA, mg/L	P ₂ O ₄₍₄₎ , mg/L	pH	HA, mg/L	P ₂ O ₄₍₅₎ , mg/L	pH	HA, mg/L	P ₂ O ₄₍₆₎ , mg/L	pH	HA, mg/L
1	16,12	7,26	10,89	7,46	5,24	6,19	7,86	9,95	4,99	8,16	11,15	2,67	8,46	13,49	1,86	8,56	14,29	0,31	8,76	15,84
2	15,94	7,69	10,77	7,89	5,18	6,13	8,29	9,84	4,94	8,39	11,03	2,64	8,89	13,34	1,84	8,99	14,13	0,33	9,19	15,65
3	15,18	7,34	10,26	7,54	4,94	5,83	7,94	9,37	4,70	8,04	10,50	2,51	8,54	12,70	1,75	8,64	13,46	0,32	8,84	14,90
4	16,87	7,19	11,40	7,39	5,49	6,48	7,79	10,41	5,23	7,89	11,67	2,79	8,39	14,11	1,95	8,49	14,96	0,31	8,69	16,60
5	16,04	7,12	10,84	7,32	5,22	6,16	7,72	9,90	4,97	7,82	11,10	2,65	8,32	13,42	1,85	8,42	14,22	0,31	8,62	15,77
Rata-rata	16,03	7,32	10,83	7,52	5,21	6,16	7,92	9,89	4,97	8,06	11,09	2,65	8,52	13,41	1,85	8,62	14,21	0,32	8,82	15,75

4.1.2.2. Pengolahan biologi menggunakan MBBR *Polyurethane foam media*

Hasil analisa proses penurunan zat organik secara aerobik terhadap air limbah yang telah diturunkan konsentrasi P_2O_4 nya pada setiap dosis pembubuhan larutan $Ca(OH)_2$ disajikan pada Tabel 4.2 sampai Tabel 4.7

Tabel 4.2. Analisa pH, ORP, COD, Total N dan PO_4 pada Reaktor R2 (aerobik) setelah penambahan 1 ml $Ca(OH)_2$ 5%

HRT	pH	Angka ORP, mV	COD, mg/L	Total N, mg/L	P_2O_4 , mg/L	Biofilm, g/L
1 menit	7,5	+165	743,15	380	10,77	0,028
20 menit	7,5	+187	735,72	380	10,69	0,033
1 Jam	7,5	+218	651,59	380	10,72	0,097
2 Jam	7,5	+221	603,02	375	10,69	0,118
3 Jam	7,5	+239	507,37	370	10,63	0,153
4 Jam	7,5	+258	425,63	370	10,47	0,137
8 Jam	7,5	+251	316,47	370	10,52	0,183
10 Jam	7,5	+262	288,48	370	10,49	0,555
24 Jam	7,5	+267	237,64	370	10,43	0,756
48 Jam	7,5	+271	226,90	310	10,41	0,773

Pada Tabel 4.2, terlihat bahwa pH air awal pada reaktor R₂ dibuat menjadi 7,5. Proses oksidasi zat organik dalam air limbah oleh mikroba aerobik tidak menyebabkan penurunan pH. Angka potensial oksidasi-reduksi (ORP) pada awal proses aerasi adalah +165 mV dan selama proses aerasi berlangsung 48 jam angka ORP naik menjadi +371 mV.

Pada awal proses pengolahan biologi konsentrasi zat organik yang diukur sebagai COD adalah 743,15 mg/L. Pada HRT 4 jam, konsentrasi zat organik turun sebesar 42,73%, dan pada akhir percobaan HRT 48 jam konsentrasi zat organik turun 69,46% menjadi 226,90 mg/L. Konsentrasi total N pada awal proses aerasi sebesar 380 mg/L, dan sampai akhir aerasi 48 jam turun 18,4%. Konsentrasi awal senyawa *phosphat* sebagai P_2O_4 pada proses aerasi adalah 10,77 mg/L dan akhir proses aerasi (HRT 48 jam) adalah 10,41 mg/L atau turun sebesar 3,34%.

Pada Tabel 4.2. juga terlihat bahwa berat kering biofilm yang menempel pada media *Polyurethane Foam* (PU-Foam) pada awal perlakuan sebesar 0,028 g/L, hal ini menunjukkan bahwa media PU-Foam yang dipakai dalam reaktor R₂ merupakan media yang telah diaktivasi terlebih dahulu, sehingga mikroorganisme yang berperan dalam proses oksidasi zat organik dalam kondisi sehat. Pada HRT 4 jam berat kering biofilm sebesar 0,137 g/L atau selama waktu 4 jam telah terbentuk tambahan biofilm sebesar 79,56 %. Pada akhir percobaan (HRT 48 jam), berat kering biofilm sebesar 0,773 g/L.

Tabel 4.3. Analisa pH, ORP, COD, Total N dan PO₄ pada Reaktor R2 (aerobik) setelah penambahan 2 ml Ca(OH)₂ 5%

HRT	pH	Angka ORP, mV	COD, mg/L	Total N, mg/L	P ₂ O ₄ , mg/L	Biofilm, g/L
1 menit	7,5	+172	767,12	380	6,13	0,0452
20 menit	7,5	+181	728,69	380	6,02	0,0533
1 Jam	7,5	+208	650,38	375	5,94	0,1567
2 Jam	7,5	+224	526,48	375	5,86	0,1907
3 Jam	7,5	+241	447,51	370	5,79	0,2472
4 Jam	7,5	+272	380,38	370	5,71	0,2214
8 Jam	7,5	+281	323,32	370	5,64	0,2957
10 Jam	7,5	+273	274,82	370	5,57	0,8967
24 Jam	7,5	+277	233,60	370	5,49	1,2215
48 Jam	7,5	+281	198,56	300	5,42	1,2489

Pada Tabel 4.3, angka ORP pada awal proses aerasi adalah +172 mV dan selama proses aerasi berlangsung 48 jam angka ORP naik menjadi +381 mV. Pada awal proses pengolahan biologi konsentrasi zat organik yang diukur sebagai COD adalah 767,12 mg/L. Pada HRT 4 jam, konsentrasi zat organik turun sebesar 50,41%, dan pada akhir percobaan HRT 48 jam konsentrasi zat organik turun % menjadi 198,56 mg/L. Konsentrasi total N pada awal proses aerasi sebesar 380 mg/L, dan sampai akhir aerasi 48 jam turun 18,4%. Konsentrasi P₂O₄ awal proses aerasi adalah 6,13 mg/L dan akhir proses aerasi (HRT 48 jam) adalah 5,42 mg/L atau turun sebesar 11,6%.

Pada Tabel 4.3. juga terlihat bahwa pada awal perlakuan berat kering biofilm yang menempel pada media *Polyurethane Foam* (PU-Foam) sebesar 0,0452 g/L. Pada HRT 4 jam berat kering biofilm sebesar 0,2214 g/L atau selama waktu 4 jam telah terbentuk tambahan biofilm sebesar 79,6%. Pada akhir percobaan (HRT 48 jam), berat kering biofilm sebesar 1,2489 g/L.

Tabel 4.4. Analisa pH, ORP, COD, Total N dan PO₄ pada Reaktor R2 (aerobik) setelah penambahan 3 ml Ca(OH)₂ 5%

HRT	pH	Angka ORP, mV	COD, mg/L	Total N, mg/L	P ₂ O ₄ , mg/L	Biofilm, g/L
1 menit	7,5	+196	782,12	380	4,94	0,0408
20 menit	7,5	+205	738,92	380	4,85	0,0918
1 Jam	7,5	+218	628,38	370	4,54	0,3582
2 Jam	7,5	+228	515,28	370	4,47	0,5208
3 Jam	7,5	+232	395,73	370	4,40	0,5718
4 Jam	7,5	+248	303,92	370	4,33	0,6222
8 Jam	7,5	+252	233,41	370	4,27	0,8298
10 Jam	7,5	+254	179,26	370	4,20	0,9330
24 Jam	7,5	+261	137,67	370	4,13	1,6536
48 Jam	7,5	+262	105,73	300	4,07	2,4780

Pada Tabel 4.1 terlihat bahwa pH proses presipitasi P_2O_4 dengan pembubuhan larutan $Ca(OH)_2$ dosis 3 ml adalah 7,82-8,39 sehingga perlu dilakukan netralisasi menggunakan NO_3 hingga pH awal proses pengolahan biologi menjadi 7,5. Pada Tabel 4.4 disajikan bahwa, angka potensial oksidasi-reduksi (ORP) pada awal proses aerasi adalah +196 mV dan selama proses aerasi berlangsung 48 jam angka ORP naik menjadi +392 mV.

Pada awal proses pengolahan biologi COD air limbah adalah 782,12 mg/L. Pada HRT 4 jam, COD turun sebesar 61,14 %, dan pada akhir percobaan HRT 48 jam prosentase penurunan COD adalah 86,48 % (105,73 mg/L). Konsentrasi total N pada awal proses aerasi sebesar 380 mg/L, dan sampai akhir aerasi 48 jam turun 21,05 %. Konsentrasi awal P_2O_4 dalam R_2 adalah 4,94 mg/L dan setelah akhir HRT 48 jam adalah 4,07 mg/L atau turun sebesar 17,61 %.

Pada Tabel 4.4. Berat kering biofilm yang menempel pada media *Polyurethane Foam* (PU-Foam) pada awal perlakuan sebesar 0,0408 g/L, mikroorganisme yang berperan dalam proses oksidasi zat organik dalam kondisi sehat. Pada HRT 4 jam berat kering biofilm sebesar 0,6222 g/L atau selama waktu 4 jam telah terbentuk tambahan biofilm sebesar 93,44 %. Pada akhir percobaan (HRT 48 jam), berat kering biofilm sebesar 2,478 g/L

Tabel 4.5. Analisa pH, ORP, COD, Total N dan PO_4 pada Reaktor R_2 (aerobik) setelah penambahan 4 ml $Ca(OH)_2$ 5%

HRT	pH	Angka ORP, mV	COD, mg/L	Total N, mg/L	P_2O_4 , mg/L	Biofilm, g/L
1 menit	7,5	+237	778,26	380	2,51	0,0510
20 menit	7,5	+245	706,74	370	2,49	0,1148
1 Jam	7,5	+248	621,93	370	2,46	0,4478
2 Jam	7,5	+254	472,67	370	2,43	0,6510
3 Jam	7,5	+259	310,07	360	2,39	0,7148
4 Jam	7,5	+258	203,41	360	2,36	0,7778
8 Jam	7,5	+255	133,43	360	2,33	1,0373
10 Jam	7,5	+254	87,53	350	2,30	1,1663
24 Jam	7,5	+252	57,42	350	2,27	2,0670
48 Jam	7,5	+253	37,67	280	2,24	3,0975

Pada Tabel 4.1 terlihat bahwa pH proses presipitasi P_2O_4 dengan pembubuhan larutan $Ca(OH)_2$ dosis 4 ml adalah 8,32 – 8,89 sehingga perlu dilakukan netralisasi menggunakan NO_3 hingga pH proses pengolahan biologi dijaga tetap 7,5. Pada Tabel 4.5 disajikan bahwa, angka potensial oksidasi-reduksi (ORP) pada awal proses aerasi adalah +277 mV dan selama proses aerasi berlangsung 48 jam angka ORP naik menjadi +453 mV.

Pada awal proses pengolahan biologi konsentrasi zat organik yang diukur sebagai COD adalah 778,26 mg/L. Pada HRT 4 jam, konsentrasi zat organik turun sebesar 73,86 %, dan pada

akhir percobaan HRT 48 jam konsentrasi zat organik turun 95,15 % menjadi 37,67 mg/L. Konsentrasi total N pada awal proses aerasi sebesar 380 mg/L, dan sampai akhir aerasi 48 jam turun 26,31 %. Konsentrasi awal senyawa *phosphat* sebagai P_2O_4 pada proses aerasi adalah 2,51 mg/L dan akhir proses aerasi (HRT 48 jam) adalah 2,24 mg/L atau turun sebesar 10,75 %.

Pada Tabel 4.5. juga terlihat bahwa berat kering biofilm yang menempel pada media *Polyurethane Foam* (PU-Foam) pada awal perlakuan sebesar 0,0510 g/L, menunjukkan mikroorganisme yang berperan dalam proses oksidasi zat organik dalam kondisi sehat. Pada HRT 4 jam berat kering biofilm sebesar 0,7778 g/L atau selama waktu 4 jam telah terbentuk tambahan biofilm sebesar 84,44 %. Pada akhir percobaan yaitu HRT 48 jam, berat kering biofilm sebesar 3,0975 g/L

Tabel 4.6. Analisa pH, ORP, COD, Total N dan PO_4 pada Reaktor R2 (aerobik) setelah penambahan 5 ml $Ca(OH)_2$ 5%

HRT	pH	Angka ORP, mV	COD, mg/L	Total N, mg/L	P_2O_4 , mg/L	Biofilm, g/L
1 menit	7,5	+247	798,10	380	1,77	0,168
20 menit	7,5	+245	648,10	370	1,69	0,353
1 Jam	7,5	+248	509,70	370	1,59	0,697
2 Jam	7,5	+248	402,20	355	1,46	0,868
3 Jam	7,5	+239	227,80	355	1,29	0,953
4 Jam	7,5	+248	119,70	355	1,13	1,037
8 Jam	7,5	+245	61,39	355	1,05	1,383
10 Jam	7,5	+254	40,05	355	0,95	1,555
24 Jam	7,5	+282	29,20	355	0,84	2,756
48 Jam	7,5	+283	21,30	240	0,69	4,13

Pada Tabel 4.1 terlihat bahwa pH proses presipitasi P_2O_4 dengan pembubuhan larutan $Ca(OH)_2$ dosis 5 ml adalah 8,42 – 8,99 sehingga perlu dilakukan netralisasi menggunakan NO_3 hingga pH awal proses pengolahan biologi menjadi 7,5. Pada Tabel 4.6 disajikan bahwa, angka potensial oksidasi-reduksi (ORP) pada awal proses aerasi adalah +267 mV dan selama proses aerasi berlangsung 48 jam angka ORP naik menjadi +483 mV.

Pada awal proses pengolahan biologi konsentrasi zat organik yang diukur sebagai COD adalah 798,10 mg/L. Pada HRT 4 jam, konsentrasi zat organik turun sebesar 85,0 %, dan pada akhir percobaan HRT 48 jam konsentrasi zat organik turun 97,33 % menjadi 21,30 mg/L. Konsentrasi total N pada awal proses aerasi sebesar 380 mg/L, dan sampai akhir aerasi 48 jam turun 36,84 %. Konsentrasi awal senyawa *phosphat* sebagai P_2O_4 pada proses aerasi adalah 1,77 mg/L dan akhir proses aerasi (HRT 48 jam) adalah 0,69 mg/L atau turun sebesar 61,01 %.

Pada Tabel 4.6. juga terlihat bahwa berat kering biofilm yang menempel pada media *Polyurethane Foam* (PU-Foam) pada awal perlakuan sebesar 0,168 g/L, hal ini menunjukkan

bahwa mikroorganisme yang berperan dalam proses oksidasi zat organik dalam kondisi sehat. Pada HRT 4 jam berat kering biofilm sebesar 1,037 g/L atau selama waktu 4 jam telah terbentuk tambahan biofilm sebesar 84,80 %. Pada akhir percobaan yaitu HRT 48 jam, berat kering biofilm sebesar 4,13 g/L.

Tabel 4.7. Analisa pH, ORP, COD, Total N dan PO₄ pada Reaktor R2 (aerobik) setelah penambahan 6 ml Ca(OH)₂ 5%

HRT	pH	Angka ORP, mV	COD, mg/L	Total N, mg/L	P ₂ O ₄ , mg/L	Biofilm, g/L
1 menit	7,5	+231	772,21	414	0,33	0,098
20 menit	7,5	+235	602,73	414	0,32	0,220
1 Jam	7,5	+242	474,02	414	0,31	0,857
2 Jam	7,5	+245	374,05	403	0,29	1,246
3 Jam	7,5	+248	211,85	403	0,26	1,368
4 Jam	7,5	+252	111,32	382	0,26	1,488
8 Jam	7,5	+248	57,09	382	0,23	1,985
10 Jam	7,5	+264	37,25	382	0,21	2,232
24 Jam	7,5	+262	27,16	382	0,20	3,955
48 Jam	7,5	+267	19,81	262	0,20	5,927

Pada Tabel 4.1 terlihat bahwa pH proses presipitasi P₂O₄ dengan pembubuhan larutan Ca(OH)₂ dosis 6 ml adalah 8,42 – 9,19 sehingga perlu dilakukan netralisasi menggunakan NO₃ hingga pH awal proses pengolahan biologi menjadi 7,5. Pada Tabel 4.7 disajikan bahwa, angka potensial oksidasi-reduksi (ORP) pada awal proses aerasi adalah +271 mV dan selama proses aerasi berlangsung 48 jam angka ORP naik menjadi +487 mV.

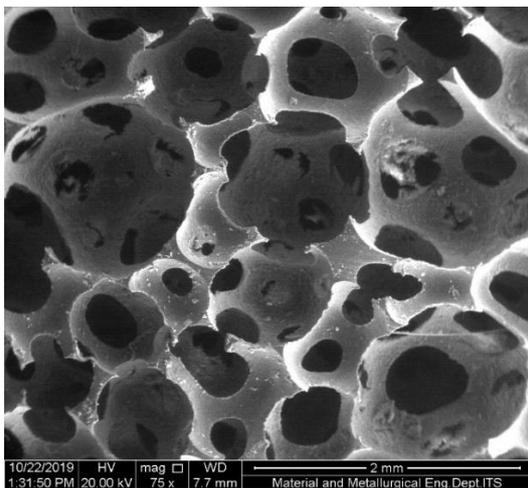
Pada awal proses pengolahan biologi konsentrasi zat organik yang diukur sebagai COD adalah 772,21 mg/L. Pada HRT 4 jam, konsentrasi zat organik turun sebesar 85,58 %, dan pada akhir percobaan HRT 48 jam konsentrasi zat organik turun 97,43 % menjadi 19,81 mg/L. Konsentrasi total N pada awal proses aerasi sebesar 414 mg/L, dan sampai akhir aerasi 48 jam turun 36,7 %. Konsentrasi awal P₂O₄ pada proses aerasi adalah 0,33 mg/L dan akhir proses aerasi (HRT 48 jam) adalah 0,20 mg/L atau turun sebesar 39,4 %.

Pada Tabel 4.7. juga terlihat bahwa berat kering biofilm yang menempel pada media *Polyurethane Foam* (PU-Foam) pada awal perlakuan sebesar 0,098 g/L, hal ini menunjukkan bahwa mikroorganisme yang berperan dalam proses oksidasi zat organik dalam kondisi sehat. Pada HRT 4 jam berat kering biofilm sebesar 1,488 g/L atau selama waktu 4 jam telah terbentuk tambahan biofilm sebesar 93,41 %. Pada akhir percobaan yaitu HRT 48 jam, berat kering biofilm sebesar 5,927 g/L.

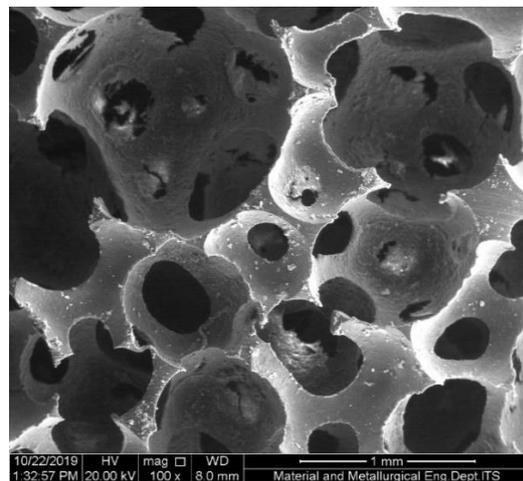
Sesuai PerGub Jatim No. 72 tahun 2013, bahwa batas maksimum buangan COD industri laundry yang diperkenankan adalah 250 mg/L, dan sesuai perhitungan waktu tinggal untuk

nilai *organic loading* air baku pada sistem MBBR dengan PU-foam media yaitu 3 jam, maka dosis presipitasi $\text{Ca}(\text{OH})_2$ 5% yang dipakai adalah 5 – 6 ml/L. Berdasarkan Tabel 4.6, berturut – turut COD setelah aerasi selama 3 jam untuk dosis $\text{Ca}(\text{OH})_2$ 5 ml/L dan 6 ml/L adalah 227,80 mg/L dan 211,85 mg/L.

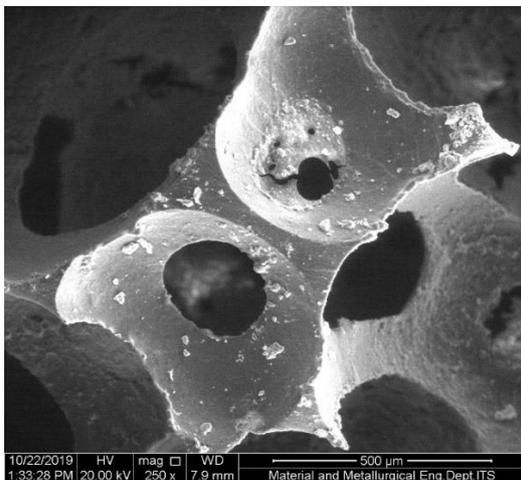
Hasil analisa *Scanning Electron Microscopy* (SEM) biofilm media PU-Foam setelah 48 jam aerasi disajikan pada Gambar 4.1 dan Gambar 4.2.



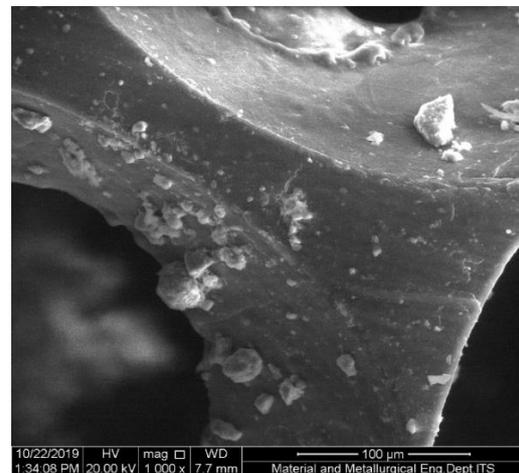
Pembesaran 75x



Pembesaran 100 x

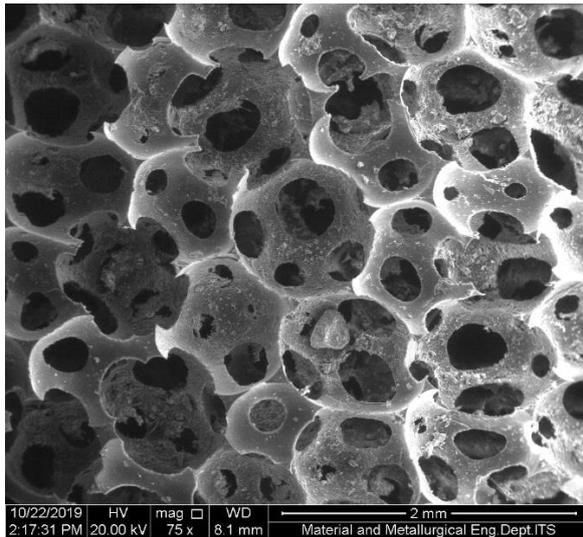


Pembesaran 250 x

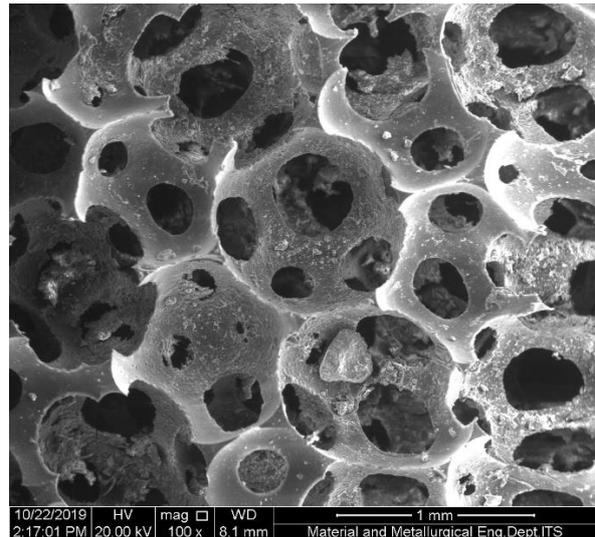


Pembesaran 1000 x

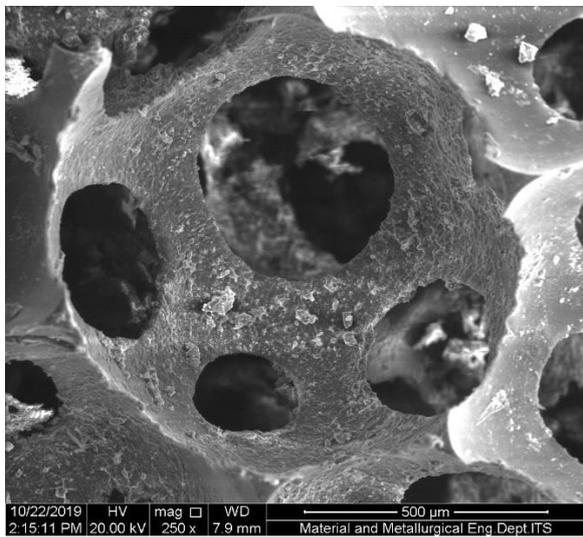
Gambar 4.1. *Scanning Electron Microscopy* (SEM) biofilm media PU-Foam pada Reaktor R₂ setelah 48 jam aerasi (menggunakan filtrat hasil proses presipitasi phosphat dengan larutan $\text{Ca}(\text{OH})_2$ 5% dosis 5 ml/L)



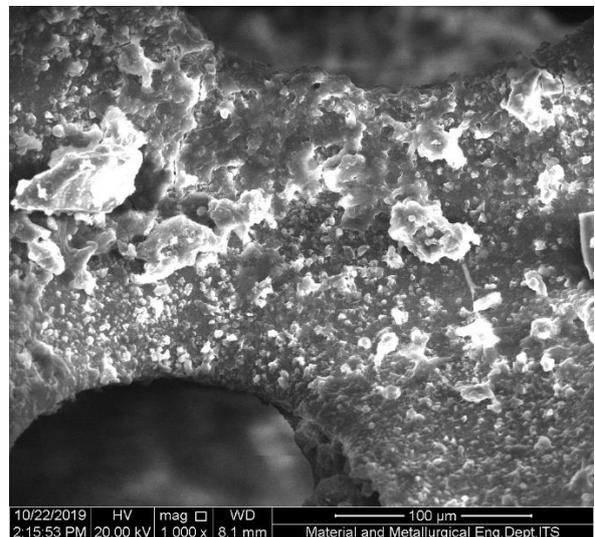
Pembesaran 75x



Pembesaran 100 x



Pembesaran 250 x



Pembesaran 1000 x

Gambar 4.2. *Scanning Electron Microscopy* (SEM) biofilm media PU-Foam pada Reaktor R₂ setelah 48 jam aerasi (menggunakan filtrat hasil proses presipitasi phosphat dengan larutan Ca(OH)₂ 5% dosis 6 ml/L).

4.1.3. *Seeding* Mikroba pada media PU-Foam

Sebelum di gunakan untuk mengolah air limbah, terlebih dulu dilakukan *seeding* mikroba pada media PU-Foam. Proses *seeding* dilakukan selama 5 hari, menggunakan mikroba *aerobic starter* yang telah diketahui yaitu konsorsium mikroba *Nitrosomonas sp*, *Nitrosobacter sp*, *Aerobacter sp*, *Lactobacillus sp*, dan *Saccharomyces C*, dengan dosis 10-15 ml per mg/L COD inlet). Proses *seeding* mikroba dilakukan pada reaktor aerasi (R₂). Prosedur *seeding* adalah sebagai berikut:

- Mengisi R₂ dengan air bersih, dan diaerasi selama 24 jam agar konsentrasi oksigen terlarut lebih dari 5 mg/L. Selanjutnya, kedalam bak aerasi dibubuhi larutan nutrisi, yaitu larutan dengan rasio konsentrasi C, N dan P sebesar 100 : 5 : 1.
- Proses aerasi dilakukan terus menerus selama proses *seeding* berlangsung (1 hari).
- Setelah 2 hari, air dalam bak aerasi dibuang sebesar 20% per 5 jam dan diganti dengan air limbah asli. Proses ini dilakukan sampai semua air bersih telah diganti dengan air limbah asli, dan proses dilanjutkan selama 1 hari.

4.2. Tahap II (*Continues System*)

4.2.1. Presipitasi P₂O₄ dengan larutan Ca(OH)₂

Pada sistem kontinyu, hasil analisa pengaruh penambahan larutan Ca(OH)₂ untuk proses P₂O₄ *removal* dan pembentukan senyawa *hydroxyapatite* disajikan pada Tabel 4.8.

Tabel 4.8. Pembentukan senyawa Hydroxyapatite dari presipitasi P₂O₄ dengan penambahan larutan Ca(OH)₂ 5%

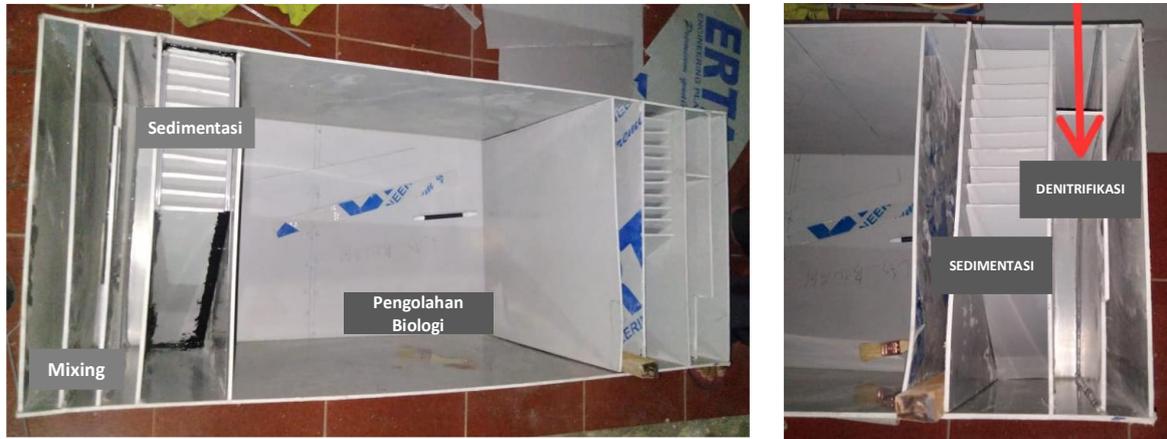
Hari	Air Baku		Setelah Penambahan larutan Ca(OH) ₂ 5% dosis 5ml/L		
	P ₂ O ₄ (awal), mg/L	pH awal	P ₂ O ₄ (akhir), mg/L	pH,akhir	HA, mg/L
1	10,27	7,12	1,82	8,42	10,29
2	10,31	7,29	1,92	8,59	10,33
3	9,18	6,94	1,61	8,24	9,20
4	9,77	6,92	1,72	8,22	9,79
5	10,04	7,12	1,77	8,42	10,06
6	10,23	7,26	1,81	8,56	10,25
7	9,86	7,01	1,71	8,31	9,88
14	9,31	6,78	1,64	8,08	9,33

Pada Tabel 4.8 terlihat bahwa P₂O₄ air limbah laundry rumah tangga yang dijadikan air baku sekitar 9,18 – 10,31 mg/L dan pH sekitar 6,78-7,29. Konsentrasi akhir P₂O₄ setelah proses presipitasi turun menjadi 1,61-1,92 mg/L, sedangkan pH akhir naik menjadi 8,08-8,59. Konsentrasi HA yang dapat diendapkan sebesar 9,20-10,29 mg/L

4.2.2. *Prototype* MBBR PU-Foam

Prototype MBBR terbuat dari modul PVC berbentuk segi empat dengan dimensi 70x120x40cm, volume total sekitar 300 L, dan terbagi menjadi 3 segmen. Pada segmen 1 terjadi dari 2 proses yaitu proses mixing antara larutan Ca(OH)₂ dengan air limbah laundry dan proses sedimentasi senyawa HA agar tidak terikut ke dalam segmen pengolahan biologi. Segmen 1 dilengkapi dengan beberapa *plate settler*. Pada segmen 2 adalah pengolahan biologi yang dilengkapi dengan 4 (empat) *diffuser* dan media PU-Foam.. Pada segmen 3 berfungsi

sebagai sedimentasi akhir dan proses denitrifikasi. Pada bagian sedimentasi akhir dilengkapi dengan *plate settler* dan *weir*, sedangkan pada bagian proses denitrifikasi tidak ada proses aerasi, selain itu berfungsi juga sebagai penampung akhir.



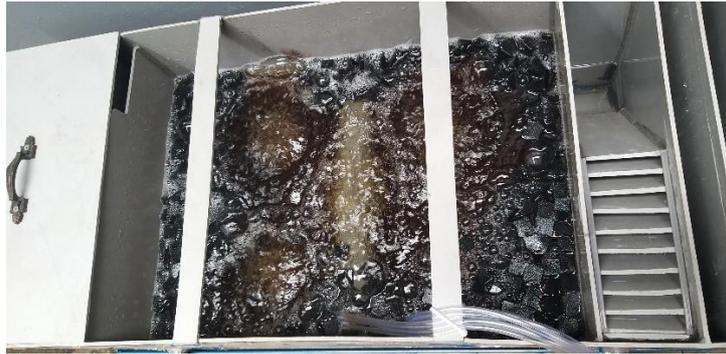
Gambar 4.3. *Prototype* MBBR Sistem



Gambar 4.4 Media PU-Foam

4.2.3. *Seeding Microbe* pada media PU-Foam Kontinyu

Prototype MBBR dioperasikan selama selama 1 bulan terus menerus. Sebelum digunakan untuk mengolah limbah laundry rumahan, terlebih dahulu dilakukan *seeding microbe* pada media PU-Foam. Proses *seeding* dilakukan selama 14 hari, menggunakan mikroba *aerobic starter* yang telah diketahui yaitu konsorsium mikroba *Nitrosomonas sp*, *Nitrosobacter sp*, *Aerobacter sp*, *Lactobacillus sp*, dan *Saccharomyces C*, dengan dosis 10-15 ml per mg/L BOD inlet). Proses *seeding microbe* dilakukan secara *batch* pada Bak Aerasi.



Gambar 4.5. Proses *seeding microbe* pada proses kontinyu

Selama proses *seeding*, bak R₂ diberikan aerasi terus menerus selama 24 agar konsentrasi oksigen terlarut lebih dari ± 5 mg/L, serta diberi larutan nutrisi, yaitu larutan dengan rasio konsentrasi C, N dan P sebesar 100 : 5 : 1 sebanyak 200 ml/L/hari. Pada Gambar 4.5. terlihat bahwa pada awal *seeding* media PU-foam mengapung dipermukaan air. Media bergerak sesuai golongan air yang dipengaruhi oleh hembusan udara dari diffuser.

Pada penelitian ini proses *seeding* secara batch dilakukan lebih lama yaitu 7 hari, bertujuan agar biofilm dalam media PU-foam yang terbentuk lebih tebal sehingga mikroba lebih tahan terhadap kondisi lingkungan basa. Setelah 7 hari, air dalam bak R₂ dibuang sebesar 20% per 24 jam dan diganti dengan air limbah asli. Proses ini dilakukan sampai semua air bersih telah diganti seluruhnya dengan air limbah asli. Setelah proses *seeding*, dilakukan pengukuran berat kering biofilm dalam media PU-Foam setelah proses *seeding* selesai adalah 1,967 g/L.

4.2.4. Kondisi Kerja *Prototype* MBBR

Kondisi kerja *Prototype* MBBR selama 2 bulan di tunjukkan pada Tabel 4.9. Selama masa percobaan, suhu, pH dan level oksigen dipertahankan pada level stabil.

Tabel 4.9. Kondisi Kerja *Prototype* MBBR

Total BOD load	0,38	Kg/hari
BOD Loading rate MBBR	7,5	gr/m ² .hari
Surface Rate of Media	20.000	m ² /m ³
Surface area requirement	50,667	m ²
Volume of Media Requirement	0,002533	m ³
Volume of media Justification	5	%
Volume of Aeration tank	0,050667	m ³
Hydrolic Retention Time	1,216	Jam
pH	6,8 \pm 0,4	
Temperature	29 \pm 1,4	°C
Dissolve Oxygen, R ₂	3,33 \pm 2,1	mg/L
Dissolve Oxygen, denitrification	1,28 \pm 0,8	mg/L

4.2.5. Penurunan zat organik pada *Prototype* MBBR PU-Foam

Proses penurunan zat organik dalam MBBR PU-Foam pada sistem kontinyu disajikan pada Tabel 4.10.

Tabel 4.10. Analisa COD, Total N dan P₂O₄ proses kontinyu

Hari ke	COD, mg/L			Total N, mg/L			P ₂ O ₄ , mg/L		
	R1	R2	R3	R1	R2	R3	R1	R2	R3
1	542,12	200,58	96,28	262	117,9	47,16	1,87	1,45	0,86
2	588,73	188,39	90,43	274	123,3	49,32	1,87	1,37	0,85
3	574,63	160,90	77,23	283	127,35	50,94	1,66	1,52	0,80
4	548,15	153,48	73,67	269	121,05	48,42	1,77	1,49	0,78
5	561,85	157,32	75,51	285	128,25	51,3	1,82	1,39	0,80
6	590,32	129,87	62,34	295	132,75	53,1	1,86	1,41	0,79
7	579,19	127,42	61,16	281	126,45	50,58	1,79	1,49	0,81
14	573,77	126,23	60,59	294	132,3	52,92	1,69	1,52	0,78

Keterangan:

R₁ : Reaktor mixing

R₂ : Reaktor proses pengolahan biologi secara aerob

R₃ : Reaktor denitrifikasi

Pada tabel 4.10 terlihat bahwa sistem MBBR dengan media PU-foam mampu mendegradasi zat organik yang diukur sebagai COD sebesar 86,90%. Konsentrasi zat organik yang keluar dari sistem (outlet) sebesar 61,16 – 96,28 mg/L, dan sudah memenuhi Standart Peraturan Gubernur Jatim No. 72 Tahun 2013 (kurang dari 250 mg/L). Konsentrasi Nitrogen (diukur sebagai Total N) yang keluar dari outlet sistem sebesar 47,16-53,10 mg/L, atau turun sebesar 82%. Persentase phosphat (diukur sebagai P₂O₄) *removal* pada sistem MBBR media PU-foam sebesar 55%, dengan konsentrasi sebesar 0,78 – 0,86 mg/L dan sudah memenuhi Standart Peraturan Gubernur Jatim No. 72 Tahun 2013 (kurang dari 10 mg/L).

Hasil analisa perubahan pH dan angka ORP selama proses kontinyu disajikan pada Tabel 4.11.

Tabel 4.11. Analisa pH, dan angka ORP proses kontinyu

Hari ke	pH		Angka ORP, mV	
	R2	R3	R2	R3
1	7,92	6,62	275	57
2	7,87	6,57	245	54
3	7,76	6,46	269	54
4	7,58	6,28	294	57
5	7,62	6,32	288	58
6	7,71	6,41	282	50
7	7,74	6,44	265	54
14	7,69	6,39	254	53

Keterangan:

R₂ : Reaktor proses pengolahan biologi secara aerob

R₃ : Reaktor denitrifikasi

Pada Tabel 4.11 terlihat bahwa pH air limbah yang keluar dari sistem MBBR PU-foam mengalami penurunan, tetapi masih dalam range pH normal. Hasil pengukuran angka ORP pada R₂ dan R₃ menunjukkan bahwa pada R₂ benar-benar terjadi proses oksidasi, yang terlihat pada angka ORP positif diatas 200 mV. Hasil pengukuran ORP pada R₃ menunjukkan pada kondisi denitrifikasi terjadi proses reduksi sehingga angka ORP turun menjadi dibawah 60 mV.

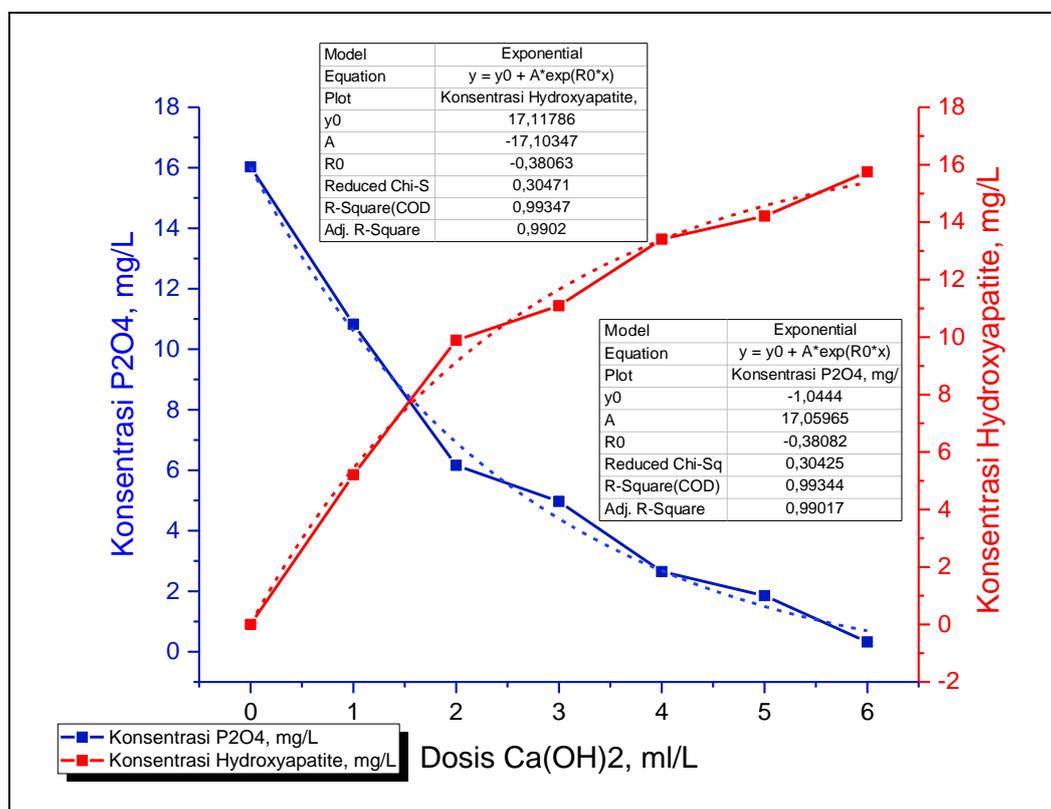
BAB 5. PEMBAHASAN

5.1. Tahap I (*Batch System*)

Batch system dilakukan untuk mengevaluasi *performance removal* senyawa Phosphat anorganik (P_2O_4), dan pembentukan senyawa *hydroxyapatite* (HA), serta mengevaluasi *performance zat organik removal* dan proses nitrifikasi.

5.1.1. Performance penurunan Phosphat

Pada penelitian ini *performance* penurunan phosphat diukur menggunakan penurunan konsentrasi P_2O_4 . Parameter P_2O_4 adalah parameter yang menunjukkan konsentrasi phosphat anorganik dan sesuai dengan ketentuan PERGUB JATIM NO. 72 tahun 2013. Diharapkan penurunan konsentrasi P_2O_4 menggambarkan penurunan konsentrasi phosphat dalam air limbah laundry rumah tangga. Pada Gambar 5.1, menyajikan *performance* penurunan P_2O_4 pada setiap perlakuan.



Gambar 5.1. Grafik pengaruh pembubuhan presipitan $Ca(OH)_2$ terhadap konsentrasi phosphat (P_2O_4 , mg/L) dan pembentukan *Hydroxyapatite* (HA, mg/L)

Pada Gambar 5.1. menunjukkan bahwa penambahan presipitan $Ca(OH)_2$ sangat efektif untuk menurunkan kandungan phosphat non organik air limbah laundry, dan merubah P_2O_4 menjadi senyawa $Ca_{10}(PO_4)_6(OH)_2$ atau *Hydroxyapatite*. Pemberian dosis presipitan semakin tinggi menunjukkan semakin bertambah pula jumlah HA yang terbentuk. Sesungguhnya reaksi

pembentukan HA sangat dipengaruhi oleh alkalinitas, sehingga jumlah Ca(OH)_2 yang dibutuhkan secara umum tidak tergantung pada jumlah PO_4 yang ada, tetapi tergantung pada konsentrasi alkalinitas. Pada Gambar 5.1. menunjukkan bahwa kadar alkalinitas dan kesadahan dalam air limbah laundry tidak terlalu tinggi, sehingga dosis 1 ml Ca(OH)_2 5% sudah mampu menurunkan P_2O_4 (Silva *et al.*, 2005; Šostar-Turk, Petrinić and Simonić, 2005; Tipuk Dwi Astuti *et al.*, 2016)

Model kinetika penurunan konsentrasi P_2O_4 dalam air limbah karena penambahan presipitan Ca(OH)_2 5% mengikuti model *exponential* :

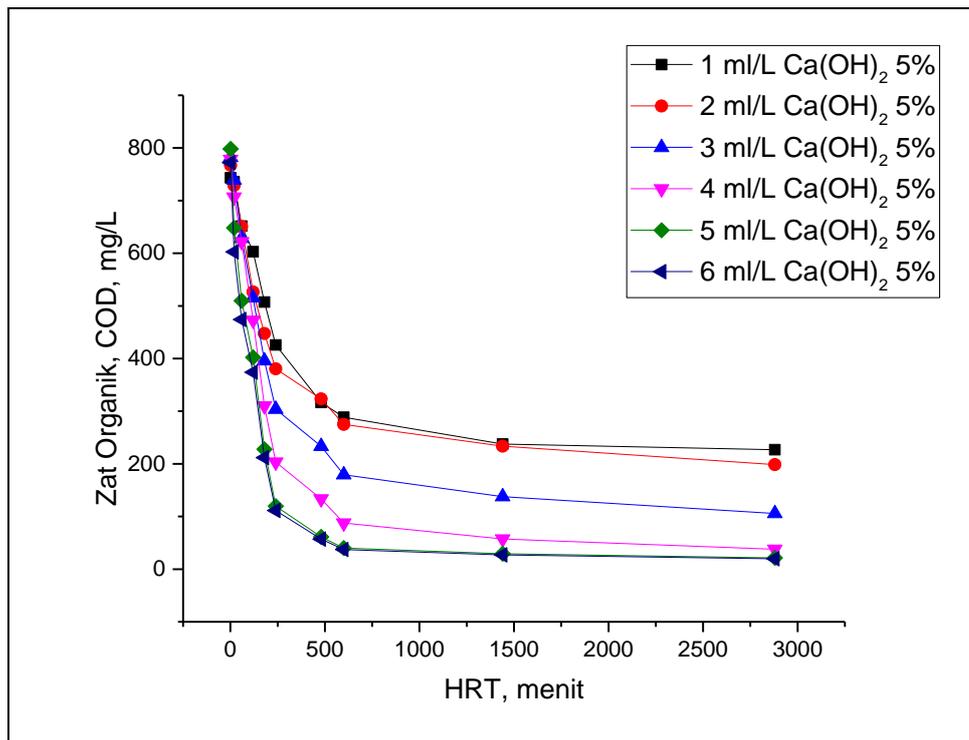
$$y = -1,0444 + 17,06 e^{(-0,3808*x)}$$

Model kinetika pembentukan presipitat *Hydroxyapatite* dalam air limbah karena penambahan presipitan Ca(OH)_2 5% mengikuti model *exponential* :

$$y = 17,1178 - 17,06 e^{(-0,3808*x)}$$

Dimana x = dosis larutan Ca(OH)_2 5%

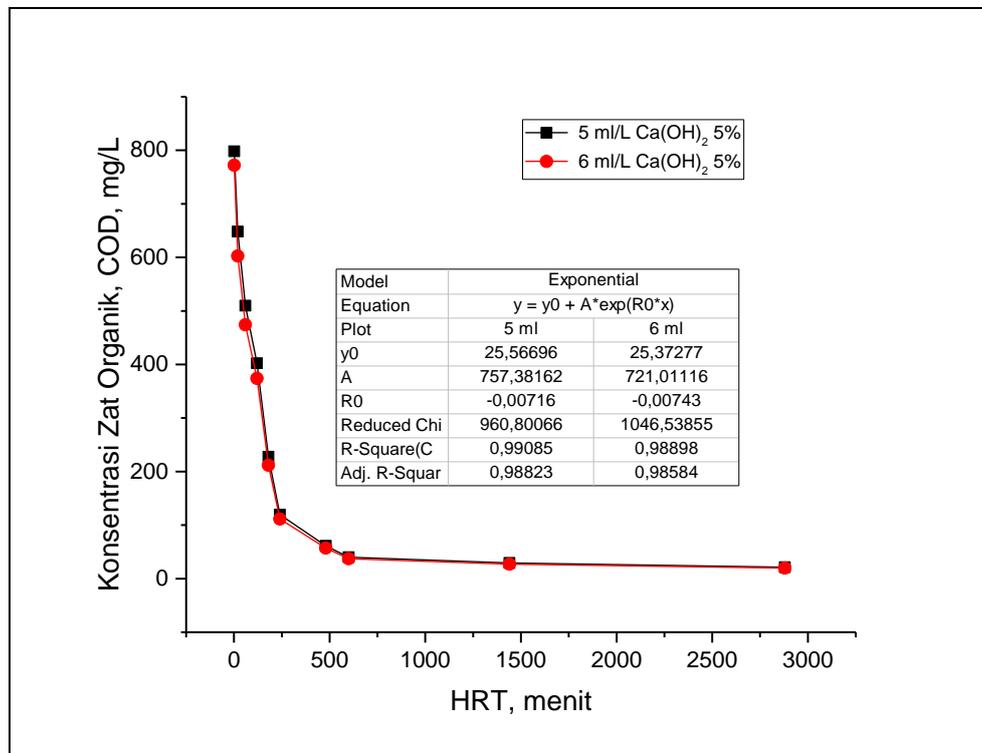
5.1.2. Performance sistem MBBR PU-Foam



Gambar 5.2. Grafik pengaruh pembubuhan presipitan Ca(OH)_2 terhadap konsentrasi zat organik (COD, mg/L)

Sesuai PerGub Jatim No. 72 tahun 2013, bahwa batas maksimum buangan COD industri laundry yang diperkenankan adalah 250 mg/L, dan sesuai perhitungan waktu tinggal untuk

nilai *organic loading* air baku pada sistem MBBR dengan PU-foam media yaitu 3 jam, maka berdasarkan Tabel 4.6, dosis $\text{Ca}(\text{OH})_2$ yang dipertimbangkan adalah 5 ml/L dan 6 ml/L.

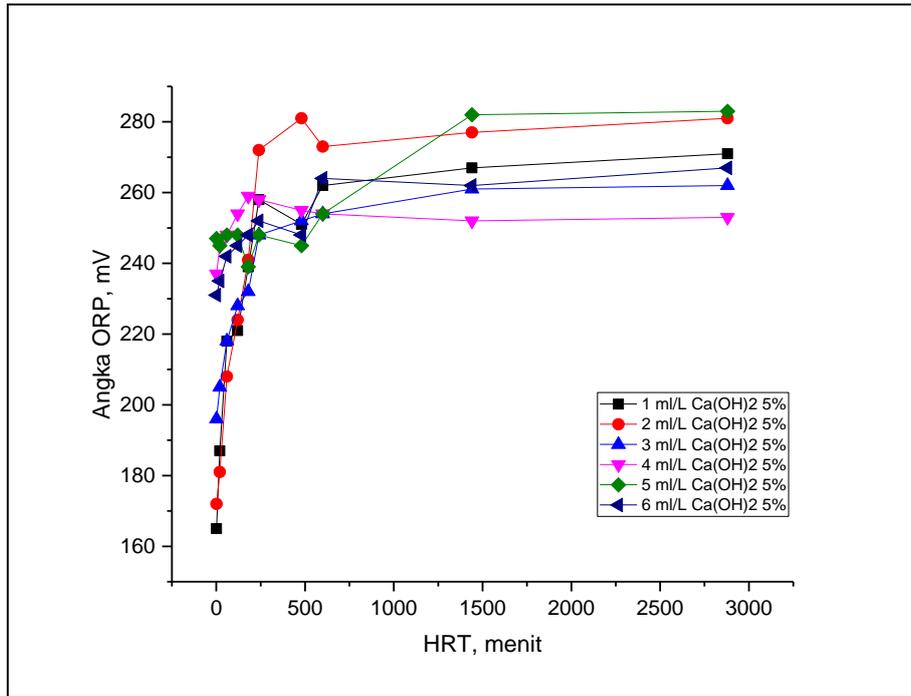


Gambar 5.3. Grafik pengaruh pembubuhan presipitan $\text{Ca}(\text{OH})_2$ 5 ml/L dan 6 ml/L terhadap konsentrasi zat organik (COD, mg/L)

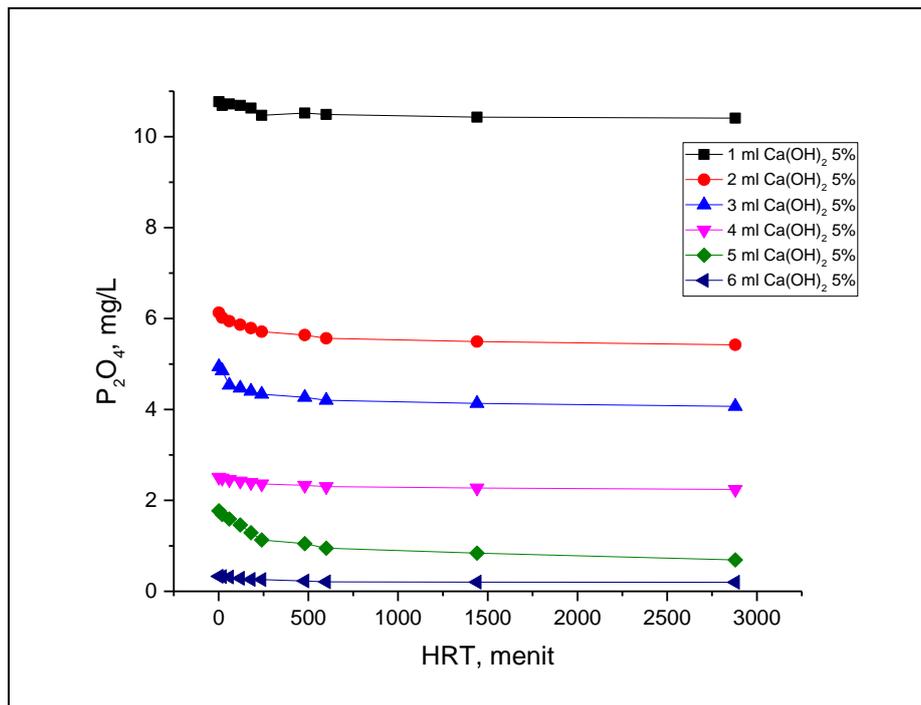
Sesuai Gambar 5.3, terlihat bahwa kurva model exponential dosis presipitan 5 ml/L dan 6 ml/L adalah berimpit atau hampir sama, sehingga pada penelitian Tahap 2 (sistem Kontinyu) digunakan dosis presipitan $\text{Ca}(\text{OH})_2$ 5 ml/L. Persamaan model penurunan zat organik mengikuti model exponential yaitu:

$$y = 25,567 + 757,381 e^{(-0,0716 \cdot x)}$$

Dimana x = *hydraulic loading rate* air limbah, menit

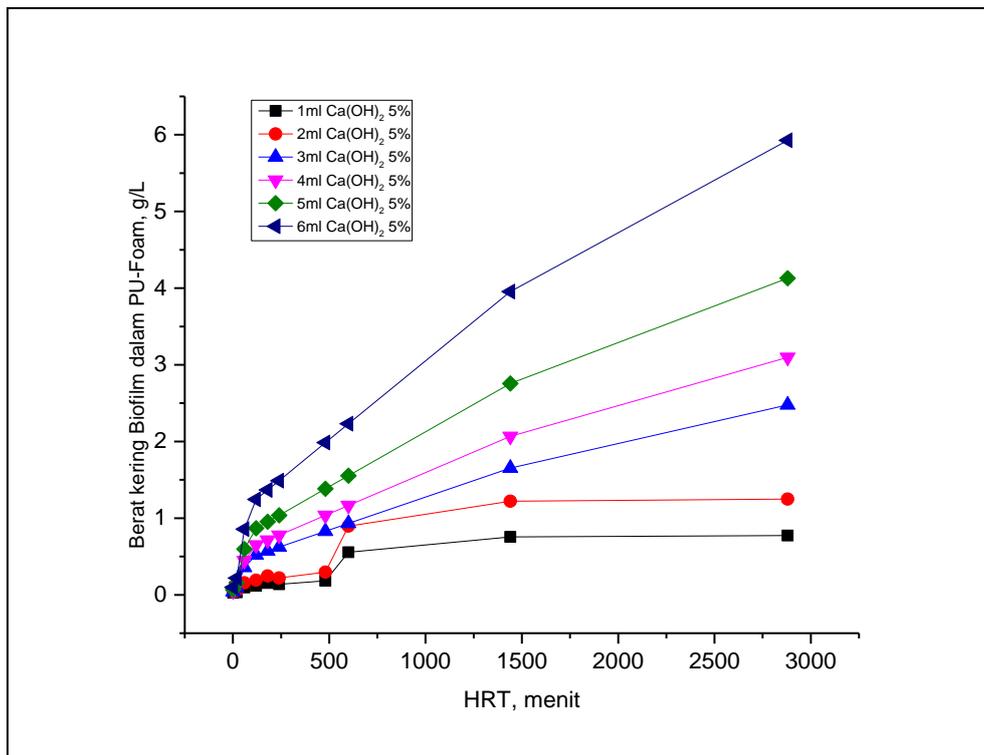


Gambar 5.4. Grafik pengaruh pembubuhan presipitan Ca(OH)_2 terhadap angka Oxydation-Reduction Potential (ORP, mV)



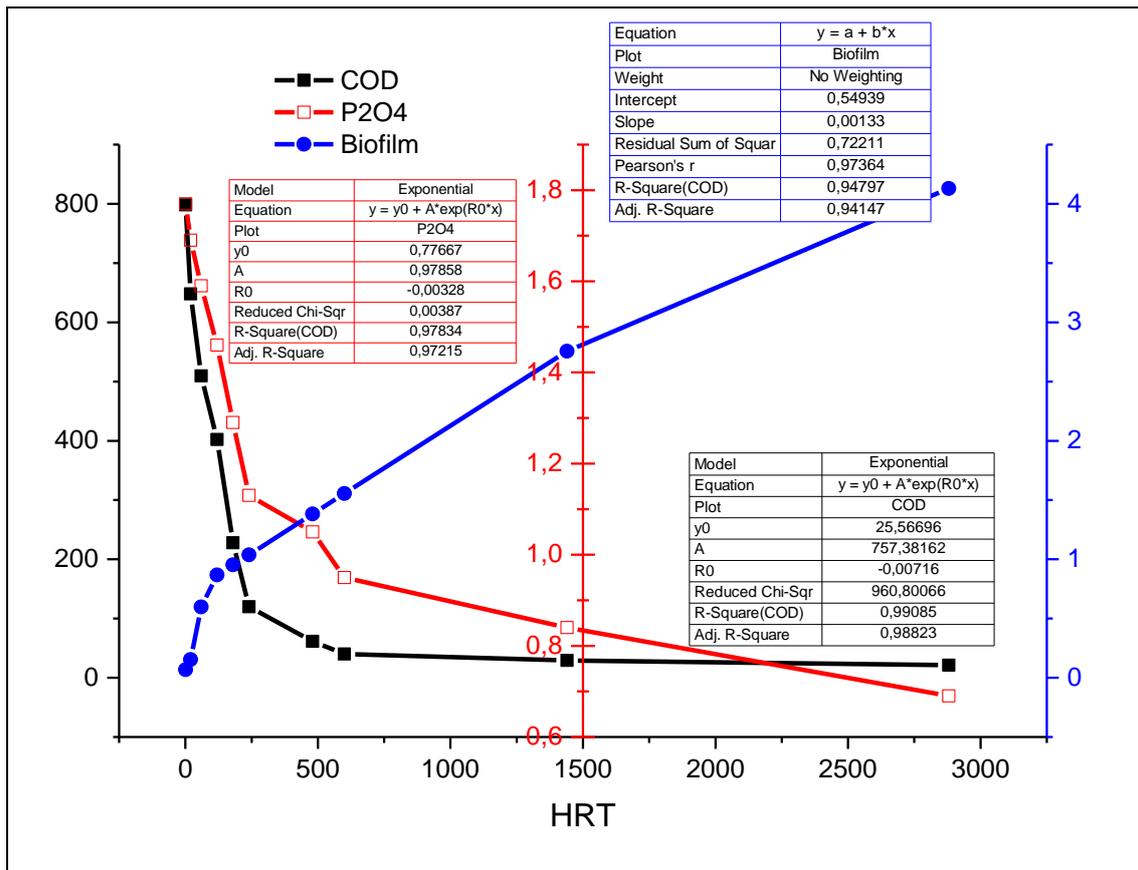
Gambar 5.5. Grafik pengaruh pembubuhan presipitan Ca(OH)_2 terhadap konsentrasi P_2O_4 , mg/L

5.1.3. Performance pembentukan biofilm pada media PU-Foam



Gambar 5.6. Grafik pengaruh pembubuhan presipitan Ca(OH)₂ terhadap konsentrasi Berat kering biofilm, gr/L

Pada Gambar 5.6, menunjukkan bahwa seiring dengan pertambahan HRT, semakin banyak biofilm yang terbentuk, dan sampai dengan HRT 48 jam masih terjadi penambahan berat biofilm kering. Kemampuan media PU-Foam sebagai media pertumbuhan biofilm, terbukti sangat efektif. Konsentrasi P₂O₄ dalam air limbah juga mempengaruhi pertumbuhan mikroorganisme, terlihat bahwa P₂O₄ yang semakin rendah pertumbuhan mikroorganismenya semakin baik.



Gambar 5.7. Grafik pengaruh pembubuhan presipitan $\text{Ca}(\text{OH})_2$ 5% dosis 5 ml/L terhadap COD removal (mg/L), konsentrasi fosfat (P_2O_4) mg/L dan berat kering biofilm (gr/L)

Pada Gambar 5.7, menunjukkan pengaruh pembubuhan presipitan $\text{Ca}(\text{OH})_2$ 5% dengan dosis 5 ml/L terhadap konsentrasi P_2O_4 mg/L dan berat kering biofilm gr/L. Persamaan model P_2O_4 removal mengikuti model kurva exponential, sedangkan pertumbuhan biofilm mengikuti model kurva linier, berturut – turut adalah:

$$y = 0,77667 + 0,97858 e^{(-0,00328 \cdot x)}$$

$$y = 0,54939 + 0,00133 x$$

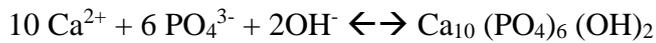
Dimana $x = \text{hydraulic loading rate}$ air limbah, menit

5.2. Tahap II (Kontinyu)

Sistem dalam *prototype* MBBR yang dipakai dalam penelitian ini terdiri dari 3 proses yaitu proses kimia, fisika dan biologi. Proses kimia yaitu terjadinya reaksi presipitasi antara larutan $\text{Ca}(\text{OH})_2$ dengan senyawa fosfat (P_2O_4) yang ada dalam air limbah laundry membentuk senyawa *hydroxyapatite* (HA) yang berwarna putih. Proses fisika yaitu proses mixing dan sedimentasi HA, sedangkan proses biologi yaitu proses penguraian zat organik dalam air limbah laundry menggunakan sistem MBBR dengan media PU-Foam.

5.2.1. Presipitasi P₂O₄ dengan larutan Ca(OH)₂

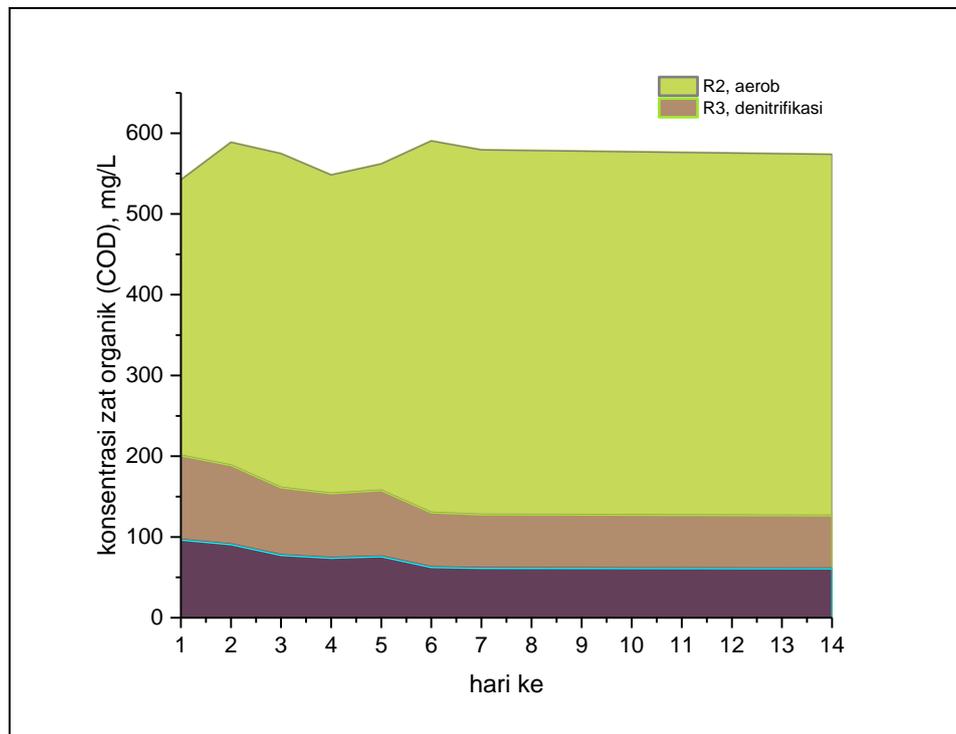
Presipitasi senyawa P₂O₄ dalam air limbah *laundry* rumah tangga menggunakan larutan Ca(OH)₂, mengikuti reaksi sebagai berikut:



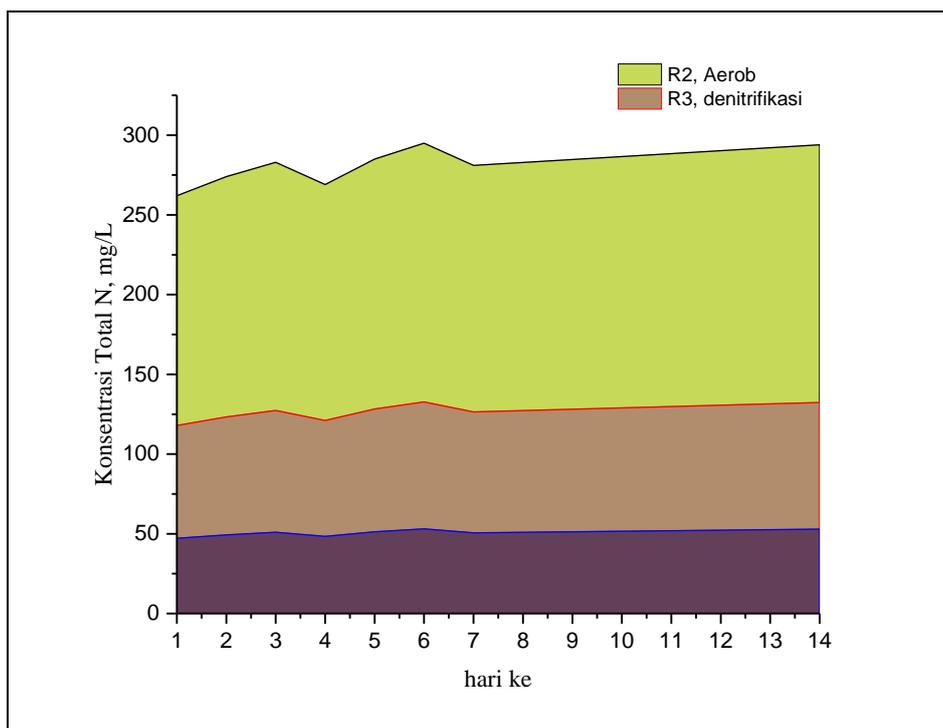
Seperti dalam sistem *batch*, pembubuhan larutan Ca(OH)₂ 5% pada sistem kontinyu juga terbukti dapat mengendapkan senyawa fosfat anorganik, menaikkan pH, menurunkan konsentrasi P₂O₄ dan membentuk endapan *hydroxyapatite* (HA) atau Ca₁₀(PO₄)₆(OH)₂ yang berwarna putih. Konsentrasi P₂O₄ berkurang sebesar 82,41% dan rata-rata berat kering senyawa HA yang terbentuk seberat 9,89 mg/L. Kenaikan pH yang terjadi sebesar 16%, menjadi 8,08-8,59. Kondisi pH tersebut masih dapat diterima oleh mikroba aerobik.

5.2.2. Penurunan zat organik pada *Prototype MBBR PU-Foam*

Pada Gambar 5.8 terlihat bahwa rata-rata penurunan zat organik (COD) pada MBBR sistem sekitar 63 -78%, sedangkan pada proses denitrifikasi sebesar 48-52%. Rata – rata konsentrasi outlet zat organik (COD) yang dikeluarkan dari R₃ lebih kecil dari 100 mg/L, sehingga sudah memenuhi Baku Mutu SK Gub Jatim No. 72 Tahun 2013 (maksimal 250 mg/L).



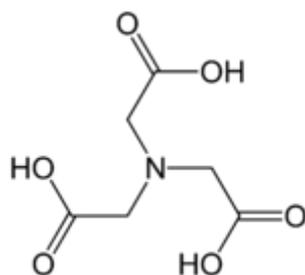
Gambar 5.8. Konsentrasi zat organik (COD), mg/L pada R₂ dan R₃



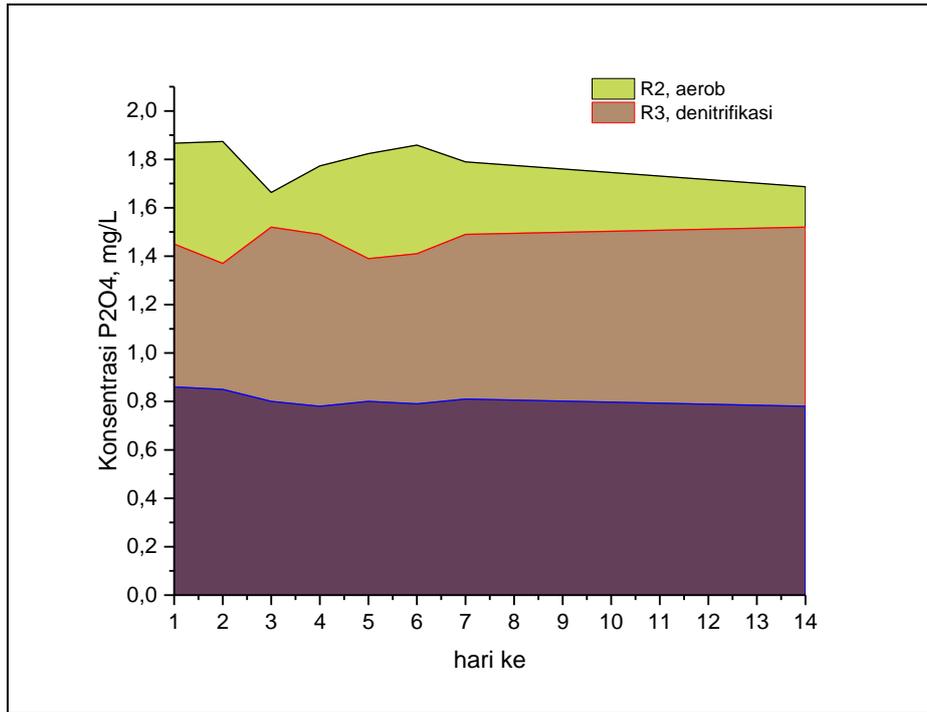
Gambar 5.9. Konsentrasi Total N, mg/L pada R₂ dan R₃

Pada Gambar 5.9 terlihat bahwa rata penurunan Total N pada MBBR sistem sekitar 43 - 55,%, sedangkan pada proses denitrifikasi sebesar 60%. Rata – rata konsentrasi total N yang dikeluarkan dari R₃ lebih kecil dari 55 mg/L. Tidak persyaratan tentang konsentrasi Total N pada industri laundry dalam Baku Mutu SK Gub Jatim No. 72 Tahun 2013.

Konsentrasi N yang ada dalam air limbah laundry berasal dari senyawa *Nitrilotriacetic acid* (NTA). NTA mempunyai kemampuan sebagai *chelating agent* yang membentuk senyawa koordinasi dengan ion-ion logam (khelet) seperti Ca^{2+} , Cu^{2+} , dan Fe^{2+} . Karena kemampuannya tersebut, maka NTA dipakai sebagai *builder* dalam pembuatan detergen. Bahan *builder* atau bahan pembentuk berfungsi untuk meningkatkan efisiensi pencucian dengan menonaktifkan mineral penyebab kesadahan air. Bahan *builder* yang lain yang telah umum dipakai adalah *Sodium Tri Polyphosphat* (Lauer and Nolan, 2002; Wijeratne *et al.*, 2016).

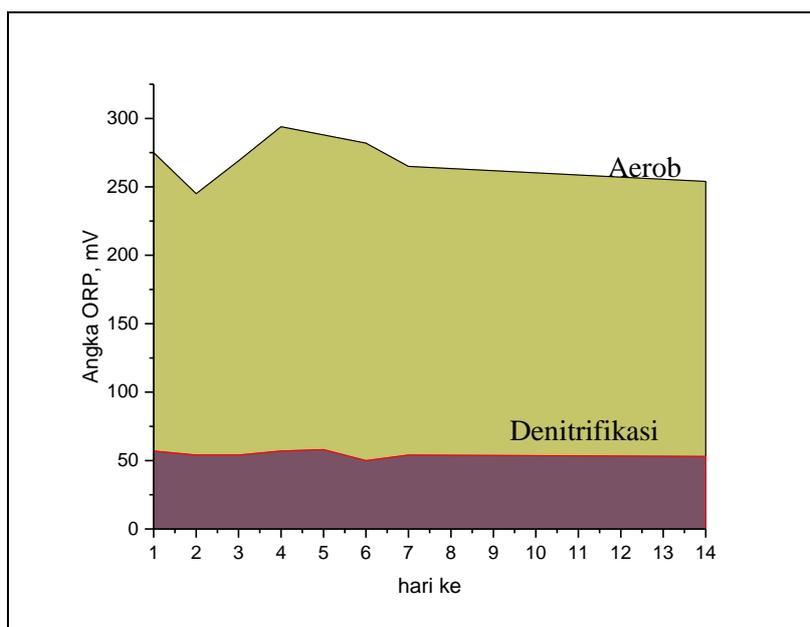


Gambar 5.10. Struktur Kimia *Nitrilotriacetic* (Wijeratne *et al.*, 2016)



Gambar 5.11. Konsentrasi P₂O₄, mg/L pada R₂ dan R₃

Pada Gambar 5.11, terlihat bahwa rata-rata penurunan P₂O₄ lebih besar pada proses denitrifikasi (55%) dibandingkan dengan proses aerob (19%). Proses denitrifikasi terjadi pada kondisi anoksik (terlihat pada angka ORP yang disajikan pada Gambar 5.11) Pada kondisi anoksik senyawa P₂O₄ mengalami proses hidrolisis sehingga terjadi pelepasan ion P_i. Selanjutnya P_i digunakan sebagai energi untuk uptake sisa-sisa asam rantai pendek yang ada dalam air limbah (Roxana Elena Apreutesei and Carmen Teodosiu, 2008; Zhang *et al.*, 2009; Nair and Ahammed, 2015).



Gambar 5.12. Angka ORP, mV pada R₂ dan R₃

Pada Gambar 5.12 terlihat bahwa penurunan angka ORP selama proses denitrifikasi sangat besar, sekitar 79,13 – 80,61%. Hal ini disebabkan selama proses denitrifikasi tidak ada proses aerasi. Aliran air dibuat laminar sehingga tidak ada golkakan yang menyebabkan terjadinya difusi oksigen ke dalam air. Selain terjadinya proses hirolisis yang menyebabkan pelepasan ion P, selama proses denitrifikasi juga terjadi penurunan konsentrasi Total N, karena keberadaan senyawa nitrat akan digunakan oleh organisme heterotropik sebagai elektron akseptor, sehingga nitrat akan berubah menjadi gas nitrogen (Völker *et al.*, 2017).

BAB 6: KESIMPULAN & SARAN

6.1. Kesimpulan

1. Karakteristik air limbah laundry

Air limbah kegiatan laundry rumah tangga di Surabaya memiliki karakteristik adalah pH 7,33, BOD₅ sebesar 380 mg/L, COD sebesar 798 mg/L, total padatan tersuspensi (TSS) sebesar 120 mg/L, lemak dan minyak (FOG) sebesar 25 mg/L, MBAS (detergen) sebesar 18 mg/L, konsentrasi fosfat sebagai P₂O₄ sebesar 15 mg/L. Rasio rata-rata perbandingan BOD/COD sebesar 0,476 atau lebih kecil dari 0,5 yang menunjukkan bahwa air limbah perlu pengolahan pendahuluan sebelum diolah secara biologi.

2. Efektifitas pembubuhan larutan Ca(OH)₂ dalam sistem MBBR unit pengolahan air limbah laundry untuk mengendapkan -Phospat non organik (P₂O₄)

Penambahan presipitan Ca(OH)₂ sangat efektif untuk menurunkan kandungan fosfat non organik air limbah laundry, dan merubah P₂O₄ menjadi senyawa Ca₁₀(PO₄)₆(OH)₂ atau *Hydroxyapatite*. Pemberian dosis presipitan semakin tinggi menunjukkan semakin bertambah pula jumlah HA yang terbentuk.

3. Evaluasi kemampuan sistem MBBR dengan media *Polyurethane Foam* dalam menurunkan senyawa organik, Senyawa N, dan senyawa *phospat* (P₂O₄) secara batch
Dalam tahap penelitian sistem batch, pada HRT 48 jam, MBBR dengan media PU-*Foam* mampu menurunkan konsentrasi zat organik sebesar 69,46% - 97,43%, menurunkan konsentrasi fosfat (P₂O₄) sebesar 3,34% - 39,4%. Kemampuan menurunkan Total N sebesar 18,4% - 36,7%

4. Model kinetika kecepatan reaksi biodegradasi Phospat (P₂O₄) adalah

$$y = -1,0444 + 17,06 e^{(-0,3808*x)}$$

Dimana x adalah dosis larutan Ca(OH)₂ 5%

5. Evaluasi kemampuan *prototype* unit pengolahan air limbah laundry sistem MBBR dengan media *Polyurethane Foam* dalam menurunkan senyawa organik, senyawa N dan senyawa *phospat* (P₂O₄) secara kontinyu.

Dalam penelitian tahap kontinyu, rata-rata penurunan zat organik (COD) pada MBBR sistem sekitar 63 -78%, sedangkan pada proses denitrifikasi sebesar 48-52%. Rata – rata konsentrasi outlet zat organik (COD) yang diambil pada *outlet port* lebih kecil dari 100 mg/L, sehingga sudah memenuhi Baku Mutu SK Gub Jatim No. 72 Tahun 2013 (maksimal 250 mg/L). Rata-rata penurunan Total N pada MBBR sistem sekitar 43 - 55,%, sedangkan pada proses denitrifikasi sebesar 60%. Rata – rata konsentrasi total N

yang diambil pada *outlet port* lebih kecil dari 55 mg/L. Rata-rata penurunan P_2O_4 pada sistem MBBR adalah 19%, sedangkan rata-rata penurunan pada proses denitrifikasi sebesar 55%. Rata – rata konsentrasi P_2O_4 yang diambil pada *outlet port* sebesar 0,78 – 0,86 mg/L sehingga sudah memenuhi Standart Peraturan Gubernur Jatim No. 72 Tahun 2013 yaitu kurang dari 10 mg/L.

6.2. Saran

1. Untuk optimalisasi penurunan kadar P_2O_4 , pada proses denitrifikasi perlu ditambahkan mikroba yang mampu menurunkan kadar fosfat, serta perlu dicoba sistem *enhanced biological phosphorus removal* (EBPR) yang melibatkan mikroorganisme pengakumulasi senyawa fosfat pada MBBR sistem. Sehingga akan terbentuk endapan lumpur fosfat pada proses sistem MBBR.
2. Mengganti sistem *tube settler* dengan *unstructured biofilter* seperti kaldness atau kaldesh untuk memaksimalkan proses denitrifikasi.

DAFTAR PUSTAKA

- Abtahi, S. M. *et al.* (2018) 'Micropollutants removal in tertiary moving bed biofilm reactors (MBBRs): Contribution of the biofilm and suspended biomass', *Science of the Total Environment*. Elsevier B.V., 643, pp. 1464–1480. doi: 10.1016/j.scitotenv.2018.06.303.
- Antov, M. G., Sciiban, M. B. and Petrovic, N. J. (2010) 'Proteins from common bean (*Phaseolus vulgaris*) seed as a natural coagulant for potential application in water turbidity removal', *Bioresource Technology*, 101(7), pp. 2167–2172. doi: 10.1016/j.biortech.2009.11.020.
- Casas, M. E. *et al.* (2015) 'Biodegradation of pharmaceuticals in hospital wastewater by staged Moving Bed Biofilm Reactors (MBBR)', *Water Research*. Elsevier Ltd, 83, pp. 293–302. doi: 10.1016/j.watres.2015.06.042.
- El-taliawy, H., Casas, M. E. and Bester, K. (2018) 'Removal of ozonation products of pharmaceuticals in laboratory Moving Bed Biofilm Reactors (MBBRs)', *Journal of Hazardous Materials*. Elsevier, 347, pp. 288–298. doi: 10.1016/J.JHAZMAT.2018.01.002.
- Escolà Casas, M. *et al.* (2015) 'Biodegradation of pharmaceuticals in hospital wastewater by a hybrid biofilm and activated sludge system (Hybas)', *Science of the Total Environment*. Elsevier B.V., 530–531, pp. 383–392. doi: 10.1016/j.scitotenv.2015.05.099.
- Falås, P. *et al.* (2012) 'Suspended biofilm carrier and activated sludge removal of acidic pharmaceuticals', *Water Research*. Pergamon, 46(4), pp. 1167–1175. doi: 10.1016/J.WATRES.2011.12.003.
- Falås, P. *et al.* (2013) 'Micropollutant removal by attached and suspended growth in a hybrid biofilm-activated sludge process', *Water Research*. Pergamon, 47(13), pp. 4498–4506. doi: 10.1016/J.WATRES.2013.05.010.
- Fogler, H. S. (2004) *Chemical reaction engineering, The Engineering Handbook, Second Edition*. doi: 10.1201/9781420014389.ch11.
- Jain, P. and Pradeep, T. (2005) 'Potential of silver nanoparticle-coated polyurethane foam as an antibacterial water filter', *Biotechnology and Bioengineering*, 90(1), pp. 59–63. doi: 10.1002/bit.20368.
- Jess Krarup, Jakob Søholm, Ole Grønberg, S. Z. (2015) *New standard for hospital wastewater treatment, Filtration + Separation*. doi: 10.1016/S0015-1882(15)30141-5.
- Karaolia, P. *et al.* (2017) 'Investigation of the potential of a Membrane BioReactor followed by solar Fenton oxidation to remove antibiotic-related microcontaminants', *Chemical Engineering Journal*. Elsevier, 310, pp. 491–502. doi: 10.1016/J.CEJ.2016.04.113.
- Lauer, S. A. and Nolan, J. P. (2002) 'Development and characterization of Ni-NTA-bearing microspheres', *Cytometry*, 48(3), pp. 136–145. doi: 10.1002/cyto.10124.
- Liu, X., Wang, L. and Pang, L. (2018) 'Application of a novel strain *Corynebacterium pollutisoli* SPH6 to improve nitrogen removal in an anaerobic/aerobic-moving bed biofilm reactor (A/O-MBBR)', *Bioresource Technology*. Elsevier, 269, pp. 113–120. doi: 10.1016/J.BIORTECH.2018.08.076.
- Moe, W.M. and Irvine, R. L. (2000) 'POLYURETHANE FOAM MEDIUM FOR BIOFILTRATION. I: CHARACTERIZATION', *Journal Environmental Eng.*, 126(September), pp. 815–825.

- Nair, A. T. and Ahammed, M. M. (2015) 'The reuse of water treatment sludge as a coagulant for post-treatment of UASB reactor treating urban wastewater', *Journal of Cleaner Production*, 96. doi: 10.1016/j.jclepro.2013.12.037.
- Ooi, G. T. H. *et al.* (2018) 'Biological removal of pharmaceuticals from hospital wastewater in a pilot-scale staged moving bed biofilm reactor (MBBR) utilising nitrifying and denitrifying processes', *Bioresource Technology*. Elsevier Ltd, 267, pp. 677–687. doi: 10.1016/j.biortech.2018.07.077.
- Polesel, F. *et al.* (2017) 'Removal of pharmaceuticals in pre-denitrifying MBBR – Influence of organic substrate availability in single- and three-stage configurations', *Water Research*. Pergamon, 123, pp. 408–419. doi: 10.1016/J.WATRES.2017.06.068.
- Roxana Elena Apreutesei, C. C. and Carmen Teodosiu (2008) 'SURFACTANT-MODIFIED NATURAL ZEOLITES FOR ENVIRONMENTAL APPLICATIONS IN WATER PURIFICATION', *Environmental Engineering and Management Journal*, 7 No.2, pp. 149–161.
- Rusten, B., Kolkinn, O. and Odegaard, H. (1997) 'Moving bed biofilm reactors and chemical precipitation for high efficiency treatment of wastewater from small communities', *Water Science and Technology*. No longer published by Elsevier, 35(6), pp. 71–79. doi: 10.1016/S0273-1223(97)00097-8.
- Silva, C. C. *et al.* (2005) 'The modulus formalism used in the dielectric analysis of hydroxyapatite and calcium phosphate with titanium formed by dry ball milling', in *Journal of Non-Crystalline Solids*, pp. 2945–2950. doi: 10.1016/j.jnoncrysol.2005.04.082.
- Šostar-Turk, S., Petrinić, I. and Simonič, M. (2005) 'Laundry wastewater treatment using coagulation and membrane filtration', *Resources, Conservation and Recycling*. Elsevier, 44(2), pp. 185–196. doi: 10.1016/j.resconrec.2004.11.002.
- von Sperling, M. (2007) *Basic Principles of Wastewater Treatment, Biological Wastewater Treatment*. doi: 10.5860/CHOICE.45-2632.
- Stylianou, K. *et al.* (2018) 'Diclofenac biodegradation by newly isolated *Klebsiella* sp. KSC: Microbial intermediates and ecotoxicological assessment', *Journal of Environmental Chemical Engineering*. Elsevier, 6(2), pp. 3242–3248. doi: 10.1016/J.JECE.2018.04.052.
- Tang, K. *et al.* (2017) 'Removal of pharmaceuticals in conventionally treated wastewater by a polishing moving bed biofilm reactor (MBBR) with intermittent feeding', *Bioresource Technology*. Elsevier Ltd, 236, pp. 77–86. doi: 10.1016/j.biortech.2017.03.159.
- Tipuk Dwi Astuti, W. *et al.* (2016) *EFEKTIVITAS LARUTAN KAPUR DALAM MENURUNKAN KADAR FOSFAT PADA LIMBAH CAIR RSUD KOTA SEMARANG*. Available at: <http://ejournal-s1.undip.ac.id/index.php/jkm>.
- Turányi, T. and Tomlin, A. S. (2015) *Analysis of Kinetic Reaction Mechanisms*. doi: 10.1007/978-3-662-44562-4.
- Veolia (2013) *An overview of the technology*.
- Völker, J. *et al.* (2017) 'Extended anaerobic conditions in the biological wastewater treatment: Higher reduction of toxicity compared to target organic micropollutants', *Water Research*. Pergamon, 116, pp. 220–230. doi: 10.1016/J.WATRES.2017.03.030.
- Wijeratne, S. *et al.* (2016) 'Layer-by-Layer Deposition with Polymers Containing

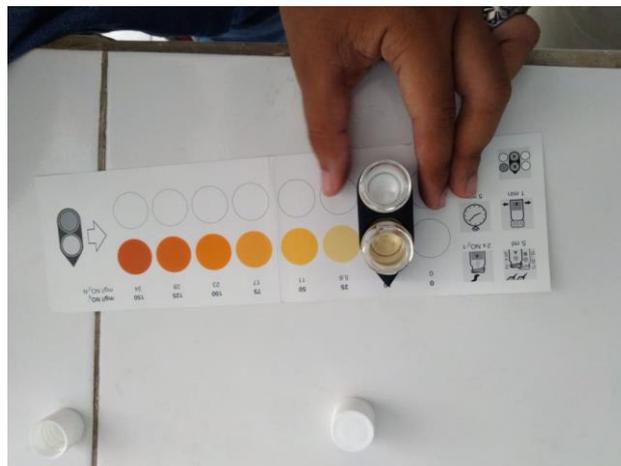
Nitrilotriacetate, A Convenient Route to Fabricate Metal- and Protein-Binding Films', *ACS Applied Materials and Interfaces*, 8(16), pp. 10164–10173. doi: 10.1021/acsami.6b00896.

Zhang, G. *et al.* (2009) 'Removal of phosphate from water by a Fe-Mn binary oxide adsorbent', *Journal of Colloid and Interface Science*. Elsevier Inc., 335(2), pp. 168–174. doi: 10.1016/j.jcis.2009.03.019.

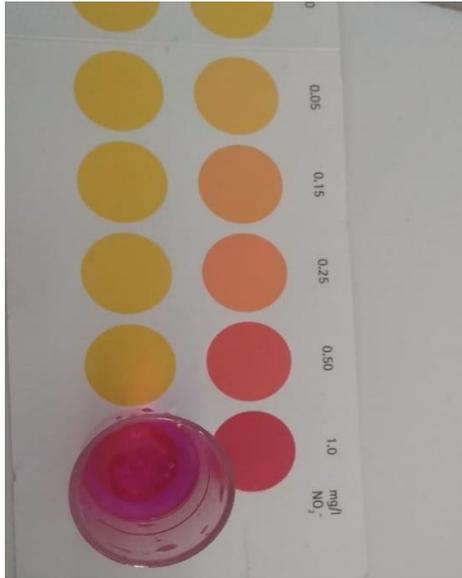
FOTO – FOTO KEGIATAN



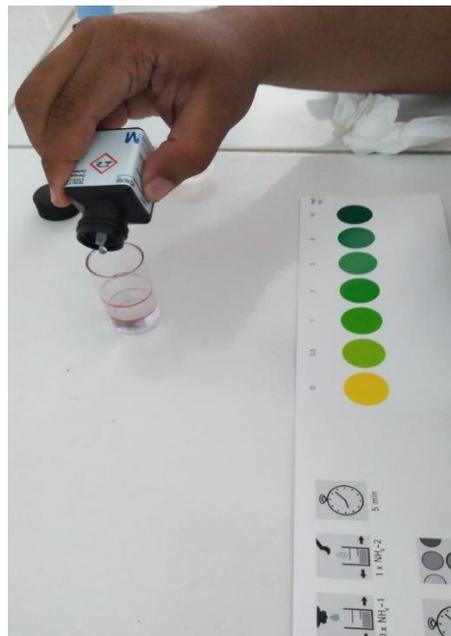
Pemeriksaan COD dengan spectrophotometer



Nitrat test



Nitrit Test



Amonium Test



Micro pippet Accumax



Nutri dan hasil seeding mikroba



Pemeriksaan vial COD



Reaktor Aerobik



Limbah cair dalam bak pengumpul



ORP meter

LOG BOOK KEGIATAN PENELITIAN 2020

JUDUL RANCANG BANGUN MOVING BED BIOFILM REACTOR DENGAN POLYURETHANE FOAM MEDIA UNTUK PENGOLAHAN AIR LIMBAH LAUNDRY

Tanggal	Kegiatan	Hasil	Keterangan
9 - 20 Maret 2020	Mengambil sample air buangan kegiatan laundry dari Fresh Laundry	Sample air limbah laundry , 10 Liter	Periksa karakteristik kimia di Baristand
	Membuat larutan CaCl ₂ .H ₂ O 10%	lar. CaCl ₂ .H ₂ O 10%	
	Membuat larutan NaCl 5%	Lar. NaCl 5%	
	Membuat larutan K ₂ HPO ₄ 5%	Lar. K ₂ HPO ₄ 5%	
	Membuat larutan MgSO ₄ .7H ₂ O 10%	Lar. MgSO ₄ 10%	
	Membuat larutan NaHCO ₃ 10%	Lar. NaHCO ₃ 10%	
	Membuat larutan NaOAc 10%	Lar. NaOAc 10%	
	Membuat larutan KMnO ₄ 5%	Lar. KMnO ₄ 5%	
19 Maret - 3 April 2020	Membeli konsorsium mikroba aerobik Nitrosomonas sp, Nitrosobacter sp, Aerobacter sp, Lactobacillus sp, dan Saccharomyces C	konsorsium mikroba aerobik Nitrosomonas sp, Nitrosobacter sp, Aerobacter sp, Lactobacillus sp, dan Saccharomyces C	(PreOrder 10 hari)
6 - 9 April 2020	Membeli Ca(OH) ₂	Ca(OH) ₂ , berat 250 gr	Delivery 3 hari
	Membuat larutan Ca (OH) ₂ 5%, 10%	larutan Ca(OH) ₂ 5% dan 10%	
13 - 21 April 2020	Membeli COD vial Membeli NO ₃ test kit Membeli NO ₂ test kit Membeli NH ₄ test kit Membeli aerator Membeli Bak aerasi	COD Vial NO ₃ test kit NO ₂ test kit NH ₄ test kit Aerator Boyu Head 40 M	Delivery 7 hari
2 - 5 Juni 2020	- Starting pra percobaan tahap I, sistem batch - pengaruh pH pada penambahan presipitan Ca(OH) ₂ 5% dan 10%, dosis 1 ml/L s/d 10 ml/L, pada air PDAM dengan tambahan alkalinitas Ca(HCO ₃) ₂ 50 ppm -	Data perubahan pH	
8 Juni 2020	- Mengambil air limbah laundry	Air limbah Fresh Laundry	
8 - 12 Juni 2020	- pengaruh pH pada penambahan presipitan Ca(OH) ₂ 5% dan 10%, dosis 1 ml/L s/d 10 ml/L, pada air limbah laundry	Data perubahan pH	

Tanggal	Kegiatan	Hasil	Keterangan
15 - 19 Juni 2020	Seeding Mikroba aerobik dan aktivasi Media PU-Foam	Media PU-Foam yang sdh diaktivasi	
22 - 26 Juni 2020	Running Percobaan Tahap I -Presipitasi P ₂ O ₄ dengan larutan Ca(OH) ₂ 5% dosisen 1 ml, pada air limbah laundry. Replikasi 5 kali - COD removal, phsphat removal, dan Total N removal	Data pH, ORP, P ₂ O ₄ dan berat kering Hydroxyapatite Data pH, ORP, P ₂ O ₄ , COD, Total N dan berat kering Hydroxyapatite	HRT 48 jam / running perlakuan
6 - 10 Juli 2020	- Presipitasi P ₂ O ₄ dengan larutan Ca(OH) ₂ 5% dosisen 2 ml, pada air limbah laundry. Replikasi 5 kali - COD removal, phsphat removal, dan Total N removal	Data pH, ORP, P ₂ O ₄ dan berat kering Hydroxyapatite Data pH, ORP, P ₂ O ₄ , COD, Total N dan berat kering Hydroxyapatite	HRT 48 jam / running perlakuan
13 - 17 Juli 2020	- Presipitasi P ₂ O ₄ dengan larutan Ca(OH) ₂ 5% dosisen 3 ml, pada air limbah laundry. Replikasi 5 kali - COD removal, phsphat removal, dan Total N removal	Data pH, ORP, P ₂ O ₄ dan berat kering Hydroxyapatite Data pH, ORP, P ₂ O ₄ , COD, Total N dan berat kering Hydroxyapatite	HRT 48 jam / running perlakuan
20 - 24 Juli 2020	- Presipitasi P ₂ O ₄ dengan larutan Ca(OH) ₂ 5% dosisen 4 ml, pada air limbah laundry. Replikasi 5 kali - COD removal, phsphat removal, dan Total N removal	Data pH, ORP, P ₂ O ₄ dan berat kering Hydroxyapatite Data pH, ORP, P ₂ O ₄ , COD, Total N dan berat kering Hydroxyapatite	HRT 48 jam / running perlakuan
3 - 10 Agustus 2020	- Presipitasi P ₂ O ₄ dengan larutan Ca(OH) ₂ 5% dosisen 5 ml, pada air limbah laundry. Replikasi 5 kali - COD removal, phsphat removal, dan Total N removal	Data pH, ORP, P ₂ O ₄ dan berat kering Hydroxyapatite Data pH, ORP, P ₂ O ₄ , COD, Total N dan berat kering Hydroxyapatite	HRT 48 jam / running perlakuan
11 - 28 Agustus 2020	- Presipitasi P ₂ O ₄ dengan larutan Ca(OH) ₂ 5% dosisen 6 ml, pada air limbah laundry. Replikasi 5 kali - COD removal, phsphat removal, dan Total N removal	Data pH, ORP, P ₂ O ₄ dan berat kering Hydroxyapatite Data pH, ORP, P ₂ O ₄ , COD, Total N dan berat kering Hydroxyapatite	HRT 48 jam / running perlakuan

Tanggal	Kegiatan	Hasil	Keterangan
1 - 28 Sept 2020	Pembuatan propotype instalasi MBBR sistem, (unit pengolahan, pompa, aerator, perpipaan, kaki-kaki dsb)	propotype instalasi MBBR sistem	
1 – 10 Oktober 2020	- Seeding system kontinyu	Berat biofilm	Running 24 jam
12 – 20 Oktober 2020	- Presipitasi P ₂ O ₄ dengan larutan Ca(OH) ₂ 5% pada air limbah laundry - COD removal, phsphat removal, dan Total N removal	Data pH, ORP, P ₂ O ₄ dan berat kering Hydroxyapatite Data COD, Total N dan berat biofilm	Running 24 jam