

**DISERTASI**

**BIOREAKTOR SISTEM KOMBINASI BIOFILTER DAN RAS  
UNTUK PENANGANAN BULKING YANG EFISIEN**

**Combination Of Bioreactor Biofilter And RAS  
System For Bulking Handling Efficient**

**ISYE ARYANI MURSALIM**

**P0800316413**



**PROGRAM STUDI DOKTOR TEKNIK SIPIL  
DEPARTEMEN TEKNIK SIPIL  
FAKULTAS TEKNIK**

**UNIVERSITAS HASANUDDIN  
MAKASSAR**

**2021**

**BIOREAKTOR SISTEM KOMBINASI BIOFILTER DAN RAS  
UNTUK PENANGANAN BULKING YANG EFISIEN**

**Disertasi**

**Sebagai Salah Satu Syarat Untuk Mencapai Gelar Doktor**

**Program Studi**

**Teknik Sipil**

**Disusun dan diajukan oleh**

**ISYE ARYANI MURSALIM**

**Kepada**

**PROGRAM STUDI DOKTOR TEKNIK SIPIL**

**DEPARTEMEN TEKNIK SIPIL**

**FAKULTAS TEKNIK**

**UNIVERSITAS HASANUDDIN**

**MAKASSAR**

**2021**

## LEMBAR PENGESAHAN DISERTASI

### BIOREAKTOR SISTEM KOMBINASI BIOFILTER DAN RAS UNTUK PENANGANAN BULKING YANG EFISIEN

### COMBINATION OF BIOREACTOR BIOFILTER AND RAS SYSTEM FOR BULKING HANDLING EFFICIENT

disusun dan diajukan oleh :

**ISYE ARYANI MURSALIM**

**P0800316413**

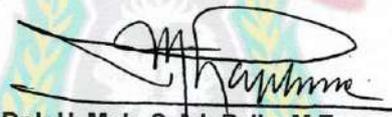
Telah dipertahankan di hadapan Panitia Ujian yang dibentuk dalam rangka penyelesaian studi Program Doktor Program Studi Doktor Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin

Pada Tanggal 5 November 2021

dan dinyatakan telah memenuhi syarat kelulusan

Menyetujui

Promotor,



**Prof. Dr. Ir. H. Muh. Saleh Pallu, M.Eng**

NIP.19540910 198303 1 003

Co Promotor,



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

NIP.19430612 196509 2 001

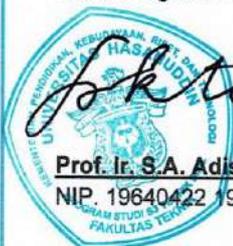
Co Promotor,



**Dr. Eng. Irwan Ridwan Rahim, S.T., M.T**

NIP.197211192 00012 1 001

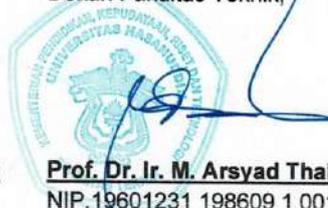
Ketua Program Studi S3 Teknik Sipil



**Prof. Ir. S. A. Adisasmita, M.Si., M.Eng.Sc., Ph.D**

NIP. 19640422 199303 1 001

Dekan Fakultas Teknik,



**Prof. Dr. Ir. M. Arsyad Thaha, M.T**

NIP.19601231 198609 1 001

## PERNYATAAN KEASLIAN DISERTASI

Yang bertanda tangan di bawah ini :

Nama : Isye Aryani Mursalim  
Nomor Mahasiswa : P0800316413  
Program Studi : Doktor Teknik Sipil Universitas Hasanuddin

Menyatakan dengan sebenarnya bahwa disertasi yang saya tulis ini benar-benar merupakan hasil karya saya sendiri, bukan merupakan pengambilalihan tulisan atau pemikiran orang lain. Apabila di kemudian hari terbukti atau dapat di buktikan bahwa sebagian atau keseluruhan disertasi ini hasil karya orang lain, saya bersedia menerima sanksi atas perbuatan tersebut.

Makassar, 19 Oktober 2021

Yang menyatakan,



Isye Aryani Mursalim

## KATA PENGANTAR

Syukur Alhamdulillah, segala puji penulis panjatkan kehadirat Allah Subhanahu Wata'ala atas segala nikmat, rahmat dan karunia yang selalu diberikan, sehingga penulis dapat menyelesaikan disertasi yang berjudul "Bioreaktor Sistem Kombinasi Biofilter dan RAS Untuk Penanganan *Bulking* Yang Efisien".

Banyak pihak yang telah memberikan kontribusi selama proses penyusunan disertasi ini hingga selesai. Penulis dengan tulus memberikan penghargaan yang sangat tinggi dan menghaturkan terima kasih kepada Promotor Bapak Prof.Dr.Ir.H.Muhammad Saleh Pallu,M.Eng, Ibu Prof.Dr. Mary Selintung,M.Sc, sebagai Co Promotor dan Bapak Dr.Eng.Irwan Ridwan Rahim,ST.,MT sebagai Co Promotor, atas nasehat, bantuan, arahan dan bimbingan-nya selama ini. Terima Kasih pula dihaturkan kepada Ibu Prof.Dr.Fahimah Martak,M.Si, sebagai Penguji Eksternal serta Bapak dan Ibu Dosen Penguji Internal.

Penulis juga memberikan penghargaan dan menghaturkan terima kasih yang tulus kepada Rektor Universitas Hasanuddin, Prof.Dr.Dwia Aries Tina Pulubuhu,MA, Dekan Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin Bapak Prof.Dr.H. Muhammad Arsyad Thaha,MT, Ketua Program Studi Doktor Teknik Sipil UNHAS, Bapak Prof.Ir. Sakti Adji Adisasmita, MS., M.Eng., Sc.,Ph.D, Ketua Departemen Teknik Sipil, Bapak Prof.Dr.M.Wihardi Tjaronge,ST.,M.Eng, Bapak Dr.Eng.Bambang Bakri,ST.,MT, Ibu Dr.Eng Ir.Hj. Rita Tahir Lopa,MT yang telah banyak memberi masukan dan saran untuk peningkatan kualitas disertasi ini, Bapak dan Ibu Dosen serta staf Program Studi Doktor Teknik Sipil Universitas Hasanuddin. Terima kasih juga dihaturkan kepada LPDP-BUDI DN (Lembaga Pengelola Dana Pendidikan-Beasiswa Unggulan Dosen Indonesia Dalam Negeri) atas dukungan pendanaan selama penulis menempuh studi. Terima kasih juga kepada rekan-rekan Program Doktor Teknik Sipil Konsentrasi Keairan dan rekan-rekan Program Doktor Teknik Sipil 2016.

Penghargaan yang tertinggi dan ucapan terima kasih serta doa yang selalu dipanjatkan untuk almarhum ayahanda tercinta H.Mursalim Kasri. Khusus untuk Ibunda tercinta Hj.Yurina Ali, terima kasih atas segala doa, bimbingan dan kasih sayang yang selalu diberikan hingga saat ini, semoga senantiasa sehat wal'afiat, bahagia, serta selalu dalam lindungan Allah Subhanahu Wata'ala. Aamiin. Penghargaan dan terima kasih yang tak terhingga kepada suami tercinta, Hasan Hanif,M.Si, atas segala doa, motivasi, kesabaran dan dukungan yang tak henti hentinya diberikan kepada penulis, Teruntuk putra putriku tercinta Muhammad Raafi Hasan dan Annisa Iftinah Hasan, serta saudara saudari keluarga penulis, terima kasih atas doa, dukungan dan kasih sayang yang telah diberikan hingga saat ini.

Penulis menyadari sepenuhnya bahwa penyusunan disertasi ini masih jauh dari kesempurnaan, olehnya diharapkan saran dan kritik yang membangun untuk peningkatan kualitas disertasi ini, akhir kata penulis haturkan terima kasih.

Penulis,

Isye Aryani Mursalim

## ABSTRAK

ISYE ARYANI MURSALIM. *Bioreaktor Sistem Kombinasi Biofilter dan RAS Untuk Penanganan Bulking Yang Efisien* (dibimbing oleh Muhammad Saleh Pallu, Mary Selintung dan Irwan Ridwan Rahim).

Masalah yang sering terjadi pada pengolahan sekunder dengan menggunakan lumpur aktif adalah *bulking* pada *mixed liquor*. Inilah yang menjadi dasar untuk melakukan penelitian agar efisiensi waktu pengolahan limbah cair industri organik pada pengolahan sekunder bisa lebih optimal dan menghasilkan efluen yang tidak mencemari lingkungan. Penelitian ini bertujuan untuk : (1) Menganalisis waktu aerasi yang efisien dengan sistem kombinasi biofilter dan *Return Activated Sludge* (RAS) terhadap parameter *Sludge Volume Indeks* (SVI), *Dissolved Oxygen* (DO) dan *Mixed Liquor Suspended Solid* (MLSS) untuk penanganan bulking, (2) Menganalisis penambahan biofilter yang tepat pada *mixed liquor* terhadap bulking dan (3) Menganalisis penambahan *Return Activated Sludge* (RAS) yang tepat pada air limbah dengan sistem kombinasi biofilter terhadap bulking. Metode yang digunakan adalah metode eksperimental di laboratorium. Desain penelitian menggunakan rancangan acak lengkap dengan 3 variabel dan 3 kali ulangan, menggunakan model bioreaktor sistem kombinasi biofilter dan RAS dengan berbagai variasi penambahan. Uji lanjut menggunakan Uji Duncan. Hasil penelitian ini menunjukkan bahwa : (1) Waktu yang efisien untuk menangani bulking yaitu 2 jam dengan menggunakan Bioreaktor sistem kombinasi biofilter & RAS yang berpengaruh sangat nyata terhadap parameter bulking (SVI, DO dan MLSS), (2) Penambahan biofilter yang tepat pada *mixed liquor*, waktu 2 jam dengan sistem kombinasi RAS yaitu pada variasi penambahan biofilter sejumlah 200 buah untuk menangani bulking dan (3) Penambahan RAS yang tepat pada 2 jam dengan menggunakan sistem kombinasi biofilter diperoleh pada variasi penambahan 10% untuk menangani bulking.

Kata kunci : *Biofilter*, *Bulking*, Limbah cair industri organik, *Mixed Liquor*, *Return Activated Sludge* (RAS)

## ABSTRACT

ISYE ARYANI MURSALIM. *Combination Of Bioreactor Biofilter and RAS System For Bulking Handling Efficient*. (Promoted by Muhammad Saleh Pallu, Mary Selintung and Irwan Ridwan Rahim).

The problem that often occurs in secondary processing using activated sludge is bulking in the mixed liquor. This is the basis for conducting research, so that the efficiency of processing time for organic industrial wastewater in secondary processing can be more optimal and produce effluent that does not pollute the environment. This research aims to (1) Analyze efficient aeration time with a combination system of biofilters and Return Activated Sludge (RAS) against the Sludge Volume Index (SVI), Dissolved Oxygen (DO) and Mixed Liquor Suspended Solid (MLSS) parameters, for bulking handling, (2) Analyzing the addition of the right biofilter in mixed liquor for bulking handling, (3) Analyzing the addition of the right Return Activated Sludge (RAS) in wastewater with a combination biofilter system for bulking handling. The method used is an experimental method in the laboratory. The research design used a completely randomized design with 3 variables and 3 replications using a bioreactor model with a combination of biofilter and RAS systems with various additions. Further test using Duncan's Test. The results of this study indicate that : (1) Efficient time to handle bulking is 2 hours by using a combination bioreactor system biofilter & RAS which has a very significant effect on the bulking parameter (SVI, DO and MLSS). (2) The right addition of biofilter at mixed liquor in 2 hours with the RAS combination system namely in the variation of the addition of 200 biofilters for bulking handling. (3) The right addition of RAS at 2 hours with the biofilter combination system namely in the variation of the addition of 10% RAS for bulking handling.

Keywords :Biofilter, Bulking, Industrial Organic Liquid Waste, Mixed Liquor, Return Activated Sludge

**DAFTAR ISI**

	<b>halaman</b>
KATA PENGANTAR	v
ABSTRAK	vii
<i>ABSTRACT</i>	viii
DAFTAR ISI	ix
DAFTAR TABEL	xi
DAFTAR GAMBAR	xii
DAFTAR LAMPIRAN	xiv
I. PENDAHULUAN	1
A. Latar Belakang Masalah	1
B. Rumusan Masalah	6
C. Tujuan Penelitian	6
D. Kebaruan/Novelty	7
E. Manfaat Penelitian	7
F. Ruang Lingkup	8
II. TINJAUAN PUSTAKA	9
A. Instalasi Pengolahan Limbah	10
B. Lumpur Aktif	16
C. Bulking	26
D. Biofilter	30
E. Penelitian penelitian sebelumnya	33

F. Hipotesis	35
G. Variabel Penelitian	36
H. Kerangka Konseptual	37
III. METODE PENELITIAN	38
A. Jenis Penelitian	38
B. Waktu dan Lokasi Penelitian	39
C. Rancangan Penelitian	40
D. Prosedur Pengumpulan Data	44
E. Metode Analisis Data	48
F. Diagram Alir Penelitian	49
IV. HASIL DAN PEMBAHASAN	50
V. KESIMPULAN DAN SARAN	66
DAFTAR PUSTAKA	68
LAMPIRAN	73

## DAFTAR TABEL

<b>Nomor</b>		<b>halaman</b>
1.	Produk akhir dari berbagai proses dekomposisi	12
2.	Berbagai jenis elektron penerima pada proses Aerobik dan Anaerobik	13
3.	Tipe Filamen sebagai Indikator yang menyebabkan <i>Sludge Bulking</i>	28

## DAFTAR GAMBAR

Nomor	halaman
1. Pembuangan Limbah Industri ke badan sungai	1
2. Pencemaran pada badan sungai	1
3. Instalasi Pengolahan Sekunder	2
4. <i>Bulking</i> Pada Pengolahan Sekunder	3
5. Skema Pengolahan Pendahuluan	10
6. Skema Pengolahan Primer	11
7. Skema Pengolahan Sekunder	14
8. Skema Pengolahan Lanjutan	16
9. Proses Lumpur Aktif	20
10. <i>Filament</i> Penyebab <i>Bulking</i>	29
11. <i>Bulking Sphaerotilus Natans</i> ( <i>S.Natans</i> )	29
12. <i>Bulking</i> yang disebabkan oleh DO rendah	30
13. Mekanisme Proses metabolisme didalam system <i>biofilm</i>	31
14. Model Biofilter film “ <i>Random Packing</i> “	32
15. Skema Kerangka Pikir Penelitian	37
16. Denah Percobaan	39
17. Biofilter Sebelum dan Sesudah Perendaman	40
18. Bioreaktor Eksperimen	41
19. Denah Rancangan Instalasi	41
20. Sketsa Model Sistem Kombinasi Biofilter dan RAS	38

21. Bioreaktor Sistem Kombinasi Biofilter dan RAS	42
22. Mesin Aerator	43
23. Anemometer	43
24. DO Meter Digital	44
25. Proses Pengendapan Sludge Volume Selama 30 menit	47
26. Diagram Alir Penelitian	49
27. Grafik hasil pengamatan parameter SVI.	51
28. Grafik Persentase penurunan parameter SVI	53
29. Grafik hasil pengamatan parameter DO	55
30. Grafik Persentase kenaikan parameter DO	57
31. Grafik hasil pengamatan parameter MLSS	59
32. Grafik Persentase kenaikan parameter MLSS	61
33. Grafik hasil pengamatan parameter BOD	62
34. Grafik hasil pengamatan parameter pH	64
35. Proses pengambilan <i>mixed liquor</i>	83
36. Proses perendaman biofilter / <i>seeding</i>	83
37. Proses aerasi pada bioreaktor	84
38. Proses pengambilan RAS	84
39. Proses penambahan RAS pada bioreaktor	85
40. Proses penyaringan untuk MLSS	85

## DAFTAR LAMPIRAN

<b>Nomor</b>	<b>halaman</b>
1. Hasil analisis sidik ragam terhadap parameter SVI	73
2. Persentase penurunan SVI dari nilai uji awal dengan nilai uji akhir Penelitian	75
3. Hasil analisis sidik ragam terhadap parameter DO	76
4. Persentase kenaikan DO dari nilai uji awal dengan nilai uji akhir Penelitian	78
5. Hasil analisis sidik ragam terhadap parameter MLSS	79
6. Persentase kenaikan MLSS dari nilai uji awal dengan nilai uji akhir Penelitian	81
7. Data hasil pengamatan terhadap parameter BOD <sub>5</sub> (mg/l), pH dan suhu (°C) rata-rata	82
8. Dokumentasi Penelitian	83

## BAB I

### PENDAHULUAN

#### A. Latar Belakang Penelitian

Pemenuhan kualitas air yang baik dan layak bagi lingkungan adalah cara untuk menjaga keberlangsungan penyediaan air bersih bagi lingkungan. Salah satu penyebab pencemaran perairan adalah pembuangan air limbah industri yang belum optimal dalam pengelolaannya, jika dibuang ke lingkungan tentu akan mencemari perairan anak sungai dan tambak di sekitar pembuangan limbah tersebut, seperti tampak pada Gambar 1 dan Gambar 2 di bawah ini.



Gambar 1. Pembuangan air limbah industri



Gambar 2. Pencemaran pada badan sungai

Pengontrolan pada tahapan pengelolaan limbah sangat penting, seperti pengontrolan pada pengolahan pendahuluan, pengolahan primer dan pengolahan sekunder. Dari ketiga proses pengolahan tersebut, pengolahan sekunder merupakan salah satu faktor penting dalam pengolahan limbah.



Gambar 3. Instalasi Pengolahan Sekunder

Pada pengolahan sekunder dengan lumpur aktif, limbah dicampurkan dengan lumpur aktif kemudian diaerasi. Aerasi dimaksudkan untuk memberikan oksigen kepada mikroorganisme agar dapat bekerja secara optimal dalam mengolah air limbah. Masalah yang sering terjadi adalah terbentuknya *bulking* pada *mixed liquor*. Terbentuknya bulking pada lumpur aktif, karena aerasi yang kurang (*under aeration*) dapat menyebabkan lumpur yang terbentuk bersifat agak longgar/bulky (Kusnoputranto, 1997).

*Bulking* dapat mengakibatkan lumpur tidak mudah mengendap (*unsettleable*) dan mencegah flok lumpur aktif menjadi flok yang lebih besar. Kejadian ini menghambat proses pengendapan lumpur dan pada akhirnya akan menurunkan kualitas efluen secara keseluruhan (Aryani.M.I, 2004).

Proses bulking pada lumpur aktif diakibatkan oleh pertumbuhan filamen organisme dan terperangkapnya udara dalam flok bakteri sehingga

mengurangi densitas penggumpalan dan berakibat pada proses pengendapan (Davis & Cornwel,1991), seperti terlihat pada Gambar 4 berikut ini :



Gambar 4. Bulking pada pengolahan sekunder

Pembentukan lumpur aktif atau flok dalam air limbah merupakan proses yang lambat dan jumlah lumpur yang terbentuk kecil, serta tidak mencukupi. Untuk mempercepat proses dibutuhkan konsentrasi lumpur aktif yang besar. Lumpur aktif yang dihasilkan dari tangki pengendapan akan digunakan kembali (*Returned Activated Sludge/RAS*). Hal ini dilakukan untuk mempertahankan keaktifan populasi biologi.

Lumpur aktif harus dijaga dalam kondisi tersuspensi selama periode kontak dengan limbah. Lumpur aktif memiliki beberapa tahapan proses yaitu pencampuran lumpur aktif dengan air limbah (*mixed liquor*), pemberian oksigen dengan cara agitasi dan aerasi, pemisahan lumpur aktif dari mixed liquor dalam tangki pengendapan, pengembalian lumpur aktif kembali (RAS), dan pembuangan lumpur aktif yang berlebih.

Tujuan dari pemberian aerasi adalah mencampurkan lumpur aktif kembali (RAS) dengan efluen dari pengolahan primer dan menjaga agar

lumpur aktif tetap dalam kondisi tersuspensi, serta mensuplai oksigen yang dibutuhkan untuk reaksi biokimia. Waktu aerasi yang optimal adalah 3 jam (Aryani M.I, 2004) dan penambahan RAS yang efektif antara 20% - 40 % (PT. KIMA, 2001)

Kebutuhan udara untuk pengolahan yang baik dapat dilakukan dengan sistem difusi atau dengan mekanikal aerator. Setelah limbah diaerasi selanjutnya dialirkan ke tangki pengendapan untuk menentukan baik tidaknya proses pengendapan, maka ada beberapa indikator penting seperti *sludge volume indeks* (SVI). *Dissolved oxygen* (DO), *mixed liquor suspended solid* (MLSS) yang harus diamati.

SVI mengidentifikasi perubahan dan karakteristik pengendapan lumpur. SVI pada instalasi pengolahan lumpur aktif konvensional berkisar antara 50 sampai 150 (PT. KIMA, 2001). Lumpur dengan SVI rendah menunjukkan karakteristik pengendapan dan kerapatan yang bagus.

Mikroorganisme membutuhkan oksigen terlarut dalam air untuk membantu proses metabolisme dan menstabilkan limbah. Oksigen terlarut tidak hanya mencukupi koloni kecil namun harus mencukupi kelompok koloni besar yang menjadi pusat dari flok bakteri. Standar oksigen terlarut (DO) menurut PT. KIMA (2001) adalah antara 1 sampai 4 mg/l, karena filamen lebih dominan bila DO dibawah 1 mg/l.

Nilai MLSS optimal untuk menghasilkan efluen yang baik, harus memenuhi standar yang telah ditetapkan yaitu berada pada kisaran 2000 sampai 4000 mg/l (PT. KIMA, 2001).

Berdasarkan teori dan penelitian sebelumnya yang berkaitan dengan *bulking* telah banyak dilakukan, diantaranya adalah :

Hong-GuiHan, dengan judul : *An intelligent detection method for bulking sludge of wastewater treatment process* (Metode deteksi cerdas untuk bulking sludge dari proses pengolahan air limbah) Meneliti tentang - Memprediksi nilai SVI dari kualitas air, dan prediksi terjadinya bulking dengan metoda algoritma identifikasi variabel penyebab (CVI), menghasilkan bahwa metode ini sangat di recommended dan sudah mereka aplikasikan di pengolahan limbah nyata.

Isye Aryani Mursalim (2004) , dengan judul : Pengaruh waktu aerasi *mixed liquor* terhadap SVI, DO dan MLSS untuk menangani bulking pada pengolahan sekunder PT.KIMA, meneliti tentang variasi waktu pada pemberian aerasi pada Mixed Liquor untuk menangani bulking, menghasilkan waktu yang optimal dan efektif adalah 3 jam, terhadap parameter SVI, DO dan MLSS dalam menangani *bulking*.

## B. Rumusan Masalah

1. Bagaimana waktu aerasi yang efisien dengan sistem kombinasi biofilter dan *Return Activated Sludge* (RAS) terhadap parameter *Sludge Volume Indeks* (SVI), *Dissolved Oksigen* (DO), *Mixed Liquor Suspended Solid* (MLSS) untuk penanganan *bulking*.
2. Bagaimana penambahan *biofilter packing random* yang tepat pada *mixed liquor*, pada sistem kombinasi dengan RAS terhadap *bulking*.
3. Bagaimana penambahan *Return Activated Sludge* (RAS) yang tepat pada air limbah dengan sistem kombinasi biofilter terhadap *bulking*.

## C. Tujuan Penelitian

1. Menganalisis waktu aerasi yang efisien dengan sistem kombinasi biofilter dan *Return Activated Sludge* (RAS) terhadap parameter *Sludge Volume Indeks* (SVI), *Dissolved Oksigen* (DO) dan *Mixed Liquor Suspended Solid* (MLSS) untuk penanganan *bulking*.
2. Menganalisis penambahan biofilter *packing random* yang tepat pada *mixed liquor* terhadap *bulking*.
3. Menganalisis penambahan jumlah *Return Activated Sludge* (RAS) yang tepat pada air limbah dengan sistem kombinasi biofilter terhadap *bulking*.

#### **D. Kebaruan**

Penelitian penanganan bulking telah banyak diteliti dengan berbagai metode penelitian, termasuk penggunaan berbagai macam dan jenis biofilter pada berbagai macam jenis limbah cair. Kebaruan penelitian ini yang membedakan dengan penelitian sebelumnya adalah menggunakan model multi bioreaktor sistem kombinasi variasi *biofilter packing random* dan variasi RAS, khususnya pada limbah cair organik industri untuk mendapatkan efisiensi waktu dengan kombinasi *biofilter* dan RAS yang tepat, serta lebih spesifik dan berbeda nyata antar perlakuan dalam penanganan *bulking*.

#### **E. Manfaat Penelitian**

Hasil penelitian ini diharapkan dapat memberikan manfaat sebagai berikut :

1. Pemahaman terhadap efisiensi waktu untuk sistem kombinasi biofilter dan RAS pada *mixed liquor* dapat memberikan kontribusi ilmiah yang mendasar terhadap pengembangan ilmu pengetahuan dan sumber informasi teknologi dalam penanganan *bulking* pada pengolahan sekunder.
2. Sebagai masukan / informasi kepada Instalasi Pengolahan Air Limbah dan instansi terkait lainnya dalam rangka pengoptimalan pengolahan sekunder untuk menghasilkan kualitas *effluen* yang baik, terutama

dalam hal ini memberikan informasi mengenai salah satu cara penanganan *bulking* yang sering menjadi permasalahan dalam pengolahan sekunder.

### **F. Ruang Lingkup**

Penelitian ini mencakup uji eksperimental dan analisis teoritis untuk memahami efektifitas waktu penanganan *bulking* dengan sistem kombinasi biofilter dan *Return Activated Sludge* (RAS)

Lingkup penelitian dan batasan masalah adalah :

1. Pengolahan sekunder limbah cair Industri
2. Limbah cair organik yang berasal dari Industri.
3. *Bulking* yang disebabkan oleh DO rendah
4. *Biofilter film packing random* dengan spesifikasi satuan biofilter : diameter 1 cm, luas penampang 12,28 cm<sup>2</sup>, berat 200 mg.

## BAB II

### TINJAUAN PUSTAKA

#### A. Instalasi Pengolahan Limbah

Limbah cair merupakan salah satu hasil samping dari suatu proses industri yang dapat mengakibatkan masalah lingkungan, seperti meningkatnya bahan kimia berbahaya, padatan berlarut serta masalah estetika. Untuk itu dibutuhkan suatu instalasi pengolahan limbah yang dapat bekerja secara optimal.

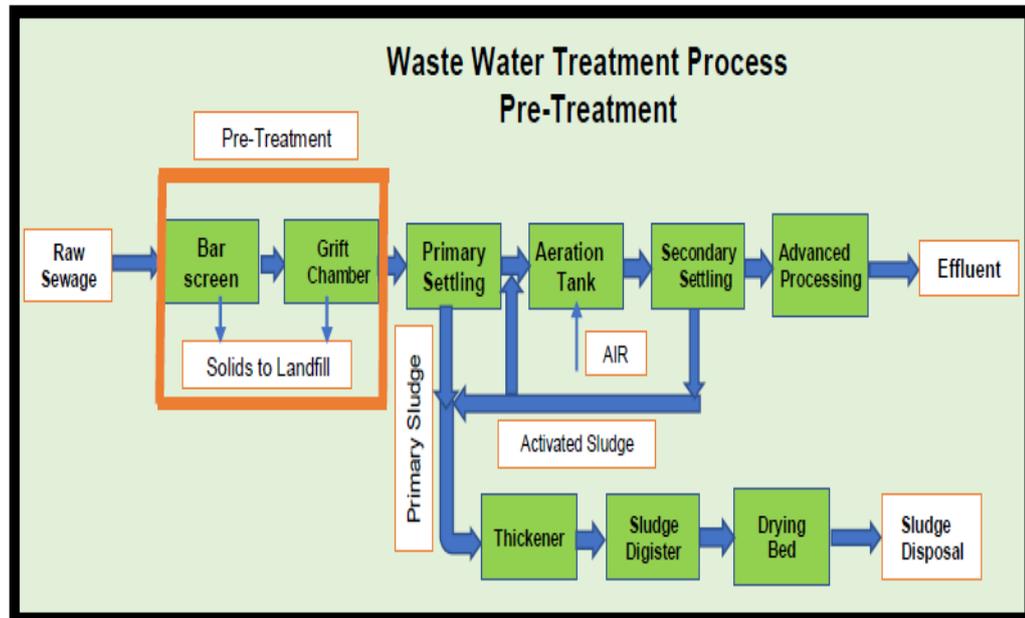
Menurut *Davis dan Conwel* (1991) alternatif pengolahan air limbah dibagi dalam empat kategori utama yaitu :

1. Pengolahan pendahuluan
2. Pengolahan primer
3. Pengolahan sekunder
4. Pengolahan lanjutan

#### **1. Pengolahan Pendahuluan ( *Preliminary Treatment* )**

Tujuan dari pengolahan pendahuluan ini adalah untuk menjaga instalasi pengolahan dari bahan atau material yang mempunyai ukuran besar yang dapat menyebabkan penyumbatan, kerusakan pompa atau dapat mengganggu proses selanjutnya. Oleh karena itu struktur dan peralatan pengolahan pendahuluan ditempatkan sebelum pengolahan

primer ( Davis dan Conwel, 1991). Pengolahan pendahuluan dapat dilihat pada Gambar 5 di bawah ini :



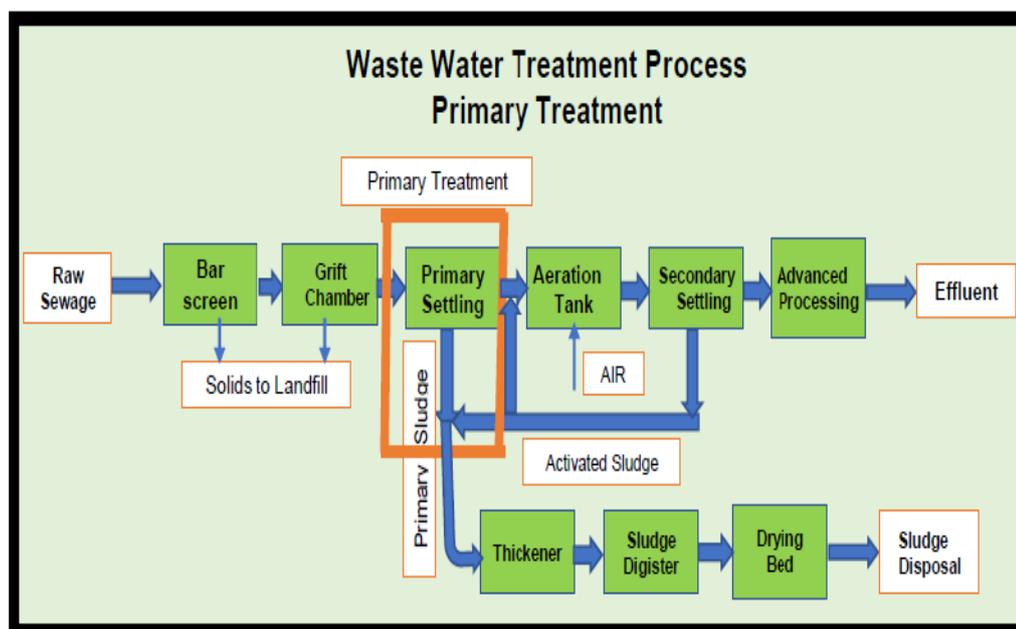
Gambar 5. Skema Pengolahan Pendahuluan

## 2. Pengolahan Primer ( *Primary Treatment* )

Pengolahan primer didesain untuk menghilangkan padatan organik dengan menggunakan proses fisika yaitu sedimentasi dan pengapungan, seperti terlihat pada Gambar 6. Dalam proses ini kecepatan aliran dikurangi 1-2 m<sup>3</sup>/menit untuk menjaga kondisi operasi, sehingga bahan yang lebih padat akan lebih mudah mengendap dan bahan yang lebih ringan akan mengapung pada bagian permukaan.

Tujuan utama pengolahan primer menurut Davis dan Conwell (1991), adalah untuk menghilangkan polutan dari air limbah dengan melakukan proses pengendapan dan pengapungan. Proses ini mampu menghilangkan 60 % padatan terlarut dan 35% BOD.

Berat padatan tergantung pada berat jenis air, ukuran, bentuk padatan serta temperatur air. Air lebih padat (kental) pada temperatur rendah, oleh karena itu dibutuhkan waktu pengendapan yang lama. Sedangkan pada air yang temperaturnya tinggi akan mempercepat proses pengendapan. Berikut Gambar 6 skema pengolahan sekunder:



Gambar 6. Skema Pengolahan Primer

### 3. Pengolahan Sekunder ( *Secondary Treatment* )

Jantung dari instalasi pengolahan limbah berada pada bagian ini, pada tahap ini proses biologi terjadi yaitu dengan menggunakan bantuan mikroorganisme untuk merombak senyawa-senyawa organik menjadi senyawa yang lebih sederhana. Mikroorganisme ini akan merubah padatan yang tidak larut.

Mikroorganisme dalam proses dekomposisinya menggunakan elektron penerima (*acceptor electron*). Tipe elektron penerima yang tersedia pada

proses katabolisme ditentukan oleh tipe dekomposisi ( aerobik, anoksik atau anaerobik ) yang menggunakan kultur campuran dari bakteri. Setiap tipe dekomposisi mempunyai karakteristik khusus yang akan berpengaruh jika digunakan dalam pengolahan limbah. Produk dari berbagai tipe dekomposisi dapat dilihat pada Tabel 1 sebagai berikut :

Tabel 1. Produk akhir dari berbagai proses dekomposisi

Substrat	Produk Akhir yang Representatif		
	Dekomposisi Aerobik	Dekomposisi Anoksik	Dekomposisi Anaerobik
Protein dan Senyawa Organik Nitrogen Lainnya	Asam Amino Amonia-Nitrat-Nitrit Alkohol } $\text{CO}_2 +$ H <sub>2</sub> O Asam Organik	Asam Amino Nitrat-Nitrit-N <sub>2</sub> Alkohol } $\text{CO}_2 +$ H <sub>2</sub> O Asam Organik	Asam Amino Amonia Hidrogen Sulfida Metana Karbon dioksida Alkohol
Karbohidrat	Alkohol } $\text{CO}_2 +$ H <sub>2</sub> O Asam Lemak	Alkohol } $\text{CO}_2 +$ H <sub>2</sub> O Asam Lemak	Asam Organik Karbon dioksida Alkohol Asam Lemak
Lemak dan senyawa yang sejenis	Asam Lemak+Gliserol Alkohol } $\text{CO}_2 +$ H <sub>2</sub> O Asam lemak rendah	Asam Lemak+Gliserol Alkohol } $\text{CO}_2 + \text{H}_2\text{O}$ Asam lemak rendah	Asam Lemak+Gliserol Karbon dioksida Alkohol Asam Lemak rendah

Sumber : Davis and Cornwell, 1991.

Sedangkan menurut Metcalf dan Eddy (1991), elektron penerima (*Acceptors Electron*) yang umum terdapat pada sistem pengolahan limbah pada Tabel 2 berikut :

Tabel 2. Berbagai jenis elektron penerima pada proses aerobik dan anaerobik

Lingkungan ( Environment )	Elektron Penerima	Proses yang terjadi
Aerobik	Oksigen, O <sub>2</sub>	Metabolisme Aerobik
Anaerobik	Nitrat, NO <sub>3</sub>	Denitrifikasi
	Sulfat, SO <sub>4</sub>	Reduksi Sulfat
	Karbon dioksida, CO <sub>2</sub>	Metanogenesis

Sumber : Davis and Cornwell, 1991.

Air limbah diklasifikasikan sebagai bahan organik dan anorganik. Ukuran dari padatan serta distribusinya adalah 30% tersuspensi, 5% dalam bentuk koloid dan 65% dalam bentuk padatan terlarut. Ada beberapa pilihan yang dapat dipakai dalam pemilihan proses pengolahan sekunder antara lain :

1. Lumpur Aktif ( *Activated Sludge* )
2. Penapis Biologi ( *Trickling Filter* )
3. Lagon ( *Lagoon* )
4. Dan lain-lain

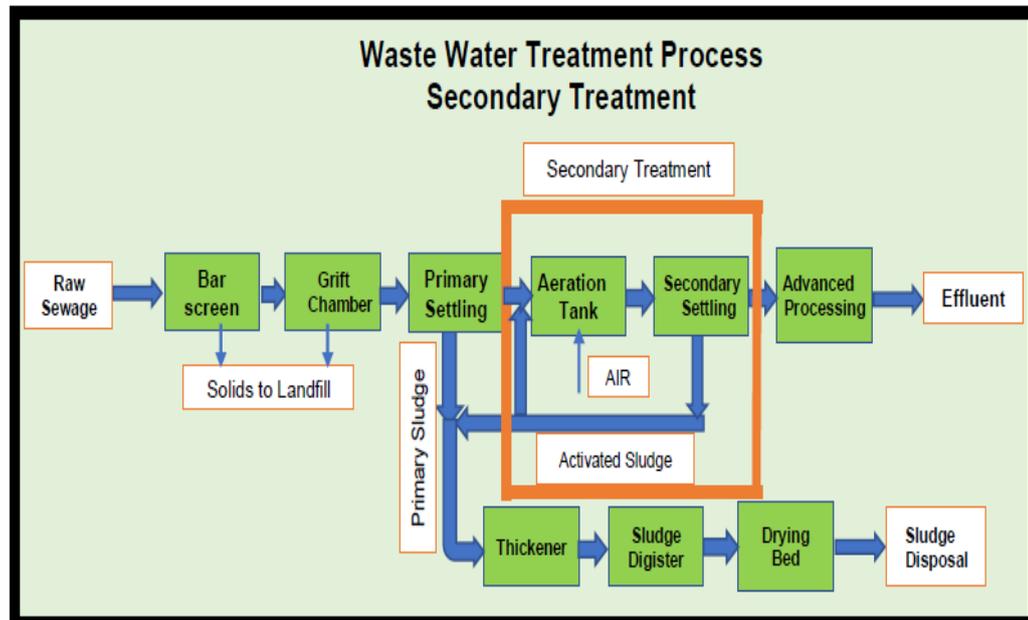
Pada pengolahan dengan menggunakan lumpur aktif dibagi kedalam dua tahap yaitu :

1. Tahap Aerasi ( *Aeration* )
2. Tahap Pengendapan ( *Settling* )

Pada proses ini mampu menghilangkan padatan tersuspensi dan BOD sampai 90% ( Fardiaz, 1992 ). Pada pengolahan dengan menggunakan

penapis biologi, air limbah akan dialirkan melalui lapisan batu dan kerikil. Pada lapisan batu dan kerikil tersebut akan terbentuk lapisan lumpur (*slime layer*), pada lapisan ini terdiri dari bakteri, protozoa serta organisme lainnya. Proses saringan (*trickling filter*) dapat menghilangkan padatan tersuspensi dan BOD antara 80-90%, namun pada prakteknya hanya mencapai 75%.

Proses pengolahan dengan cara lagoon adalah proses pengolahan limbah organik dengan menggunakan proses fisika dan biologi (Davis dan Conwell, 1991). Proses yang terjadi adalah *self-purification*. Gambar 7 di bawah ini adalah gambar skema pengolahan sekunder pada limbah cair industri.

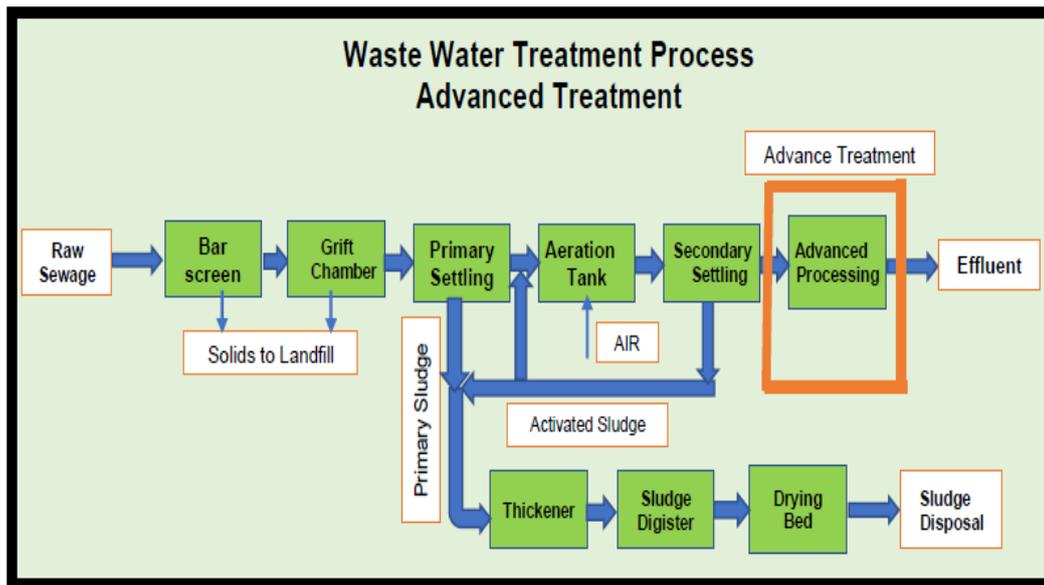


Gambar 7. Skema Pengolahan Sekunder

#### **4. Pengolahan Air Limbah Lanjutan (*Advance Wastewater Treatment*)**

Walaupun pada proses pengolahan sekunder yang dirangkaikan dengan proses disinfeksi mampu menghilangkan lebih dari 85 % BOD dan padatan tersuspensi, serta hampir semua bahan pathogen, namun tidak semua polutan dapat dihilangkan seperti nitrogen, fosfor dan logam berat ( Davis dan Conwell,1991 ). Oleh karena itu dibutuhkan suatu proses yang mampu menangani masalah tersebut. Proses ini biasa dikenal dengan proses pengolahan limbah lanjutan ( *tertiary wastewater treatment* atau *advance wastewater treatment* ).

Pengolahan limbah lanjutan adalah proses yang digunakan untuk menghilangkan nitrogen, fosfor, bahan organik yang nondegradasi, logam berat, dan padatan terlarut yang tidak dapat dihilangkan pada proses pengolahan sekunder. Pada pengolahan ini perlu dikombinasikan antara pengolahan fisik, kimia dan biologi seperti pada Gambar 8. Pengolahan secara fisik misalnya dengan menggunakan zat kimia sebagai koagulan, sedangkan pada proses biologi biasanya dengan menggunakan saringan pasir atau adsorpsi karbon aktif. Skema pengolahan lanjutan dapat dilihat pada Gambar 8 di bawah ini :



Gambar 8. Skema Pengolahan Lanjutan

## B. Lumpur Aktif

Proses lumpur aktif berkembang di Inggris pada tahun 1914, dinamakan lumpur aktif karena mengandung mikroorganisme aktif yang mampu secara aerobik menstabilkan limbah organik ( Sugiharto, 1987 ). Lumpur aktif merupakan proses pengolahan biologi yang berguna dan mampu menghasilkan efluen dengan BOD yang diharapkan. Proses ini kemudian meluas penggunaannya untuk limbah domestik dan industri.

Menurut Eckenfelder ( 1989 ), lumpur aktif efektif untuk menghilangkan bahan organik terlarut dan tidak terlarut dalam air limbah dan mengkonversinya kedalam flok bakteri dan siap untuk mengendap secara gravitasi.

Proses lumpur aktif dipakai untuk mengurangi konsentrasi partikel terlarut dan koloid dalam limbah. Lumpur aktif dan air limbah yang masuk tangki aerasi kemudian membentuk flok biologi. Flok bakteri terdiri dari

bakteri dan bahan organik yang merupakan sumber energi untuk pertumbuhan sel serta akan menghasilkan produk akhir seperti korbondioksida.

Seperti layaknya penapis biologi ( *trickling filter* ), lumpur aktif merupakan proses kontak dimana bakteri, fungi, protozoa, dan organisme kecil seperti rotifer dan cacing bertemu dengan limbah dalam tangki aerasi. Bakteri merupakan kelompok mikroorganisme yang penting dan mereka yang bertanggung jawab terhadap struktur dan fungsi dari aktifitas flok lumpur aktif .

Menurut praktek dan manual proses lumpur aktif (Spellman, 1997), proses lumpur aktif terdiri dari beberapa proses yang saling berhubungan. Pertama, tangki aerasi atau tangki dimana oksigen dimasukkan kedalam sistem untuk menciptakan kondisi aerobik yang dibutuhkan oleh komunitas biologi dan menjaga lumpur aktif tercampur dengan sempurna. Kedua, sumber aerasi yang dibutuhkan untuk menjaga penggunaan oksigen yang tepat. Sumber ini bisa berasal dari oksigen mumi, kompresi udara, atau dengan menggunakan mekanikal aerator. Ketiga adalah proses lumpur aktif, tangki aerasi yang diikuti *secondary clarifier*. Pada *secondary clarifier* lumpur aktif dipisahkan dari limbah melalui proses flokulasi (pembentukan gumpalan partikel besar ).

Lumpur yang mengendap kemudian dikembalikan ke tangki aerasi, selanjutnya lumpur aktif yang berlebih dibuang. Komposisi mikroorganisme dalam lumpur aktif terdiri dari 70% - 90% bahan organik. Sel yang terbentuk

tergantung dari komposisi kimia dari limbah (Jenkins, 1993). Spesies organisme yang dominan tergantung dari kondisi lingkungan, desain proses, operasional pabrik, dan karakteristik limbah yang diolah.

Lumpur aktif yang berwarna kecoklat-coklatan yang mengandung bahan organik yang dihasilkan dari limbah, serta dialami oleh bakteri dan bentuk lain dari kehidupan biologi. Lumpur aktif mempunyai sifat mengabsorpsi koloid dan bahan organik terlarut. Organisme menggunakan material yang terabsorpsi sebagai bahan makan dan merubahnya menjadi gas, energi dan sel baru. Beberapa bakteri mengubah senyawa kompleks menjadi senyawa yang lebih sederhana (Laubenberger, 1971).

Bakteri heterotrofik mendominasi perolehan energi dari senyawa organik karbon untuk kebutuhan sintesis sel baru. Pada waktu yang bersamaan pula mereka melepaskan energi seperti karbondioksida dan air. Bakteri yang penting dari jenis heterotrof adalah *acrhomobacter*, *alcaligenes*, *arthrobater*, *citromonas*, *flavobacterium*, *pseudomonas*, dan *zooglea* ( Jenkins, 1993 ).

Sedangkan bakteri autotrof memperoleh energi melalui oksidasi senyawa amoniak nitrogen menjadi nitrat dalam dua tangki proses yang dikenal sebagai proses nitrifikasi. Energi yang dihasilkan dari proses ini kecil, sehingga jumlah populasi mikroorganisme autotrof dalam lumpur aktif sedikit.

Fungi jarang terdapat dalam lumpur aktif, namun ketika hadir fungi cenderung membentuk filamen yang mencegah pembentukan flok yang

baik sehingga dapat menurunkan efisiensi dari proses instalasi pengolahan limbah. Tingginya limbah yang mengandung karbohidrat, rendahnya pH, kurangnya nutrien akan menstimulasi pertumbuhan fungi.

Pembentukan lumpur aktif atau flok dalam limbah adalah proses lambat dan jumlah yang terbentuk relatif kecil serta tidak mencukupi. Untuk mencukupi maka diambil dari proses sedimentasi, proses pengambilan kembali lumpur aktif ini dikenal dengan *Return Activated Sludge* ( RAS ). Hal ini dilakukan untuk mempertahankan keaktifan populasi biologi (Warner, 2003)

Lumpur aktif harus dijaga dalam kondisi tersuspensi selama periode kontak dengan limbah. Untuk menjaga kondisi tersebut maka dilakukan pengadukan. Proses lumpur aktif ( Gambar 9 ) mempunyai beberapa tahap:

1. Pencampuran lumpur aktif dengan air limbah ( *mixed liquor* )
2. Aerasi dan Agitasi dari *mixed liquor*
3. Pemisahan lumpur aktif dari *mixed liquor*
4. Pengembalian lumpur aktif ( RAS )
5. Membuang lumpur aktif yang berlebih



Gambar 9. Proses Lumpur Aktif

Adapun tujuan pada pemberian aerasi adalah :

- 1) Mencampurkan lumpur aktif kembali ( RAS ) dengan efluen dari pengolahan primer
- 2) Menjaga agar lumpur aktif tetap dalam kondisi tersuspensi
- 3) Mensuplai oksigen yang dibutuhkan untuk reaksi biokimia

Setelah diberi aerasi *mixed liquor* dialirkan ke tangki pengendapan. Pada tangki ini lumpur aktif dipisahkan dari *mixed liquor*. Lumpur ini kemudian dikembalikan ke tangki aerasi. Sedangkan yang berlebih harus dihilangkan sebelum keaktifannya hilang. Jika hal itu terjadi maka proses akan mengarah ke sistem anaerobik, sehingga hal ini dapat mengakibatkan *rising sludge* dan *bulking*.

Tujuan dari RAS adalah untuk menjaga konsentrasi lumpur aktif yang tepat dalam tangki aerasi serta untuk memenuhi kebutuhan pengolahan

selanjutnya. Kapasitas pengambilan RAS harus dijaga pada range 10% sampai 50% dari volume yang diolah, sedangkan pengolahan konvensional persentasenya antara 20% sampai 30%.

Parameter yang perlu diketahui dalam pengolahan sekunder adalah :

### 1. Sludge Volume Index ( SVI )

SVI adalah indikator pengendapan lumpur dalam tangki sedimentasi untuk mengidentifikasi perubahan dan karakteristik pengendapan lumpur. SVI adalah volume lumpur yang mengendap dalam gelas 1000 ml setelah didiamkan selama 30 menit (Davis dan Cornwell, 1991). Satu liter sampai *mixed liquor* diambil didekat outlet tangki aerasi, kemudian diendapkan dalam silinder gelas dengan volume 1000 ml. SVI dapat dihitung dengan persamaan sebagai berikut :

$$\text{SVI (ml/g)} = \frac{\text{volume lumpur mengendap (ml)} \times 1000}{\text{MLSS}} \quad (1)$$

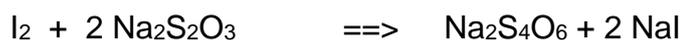
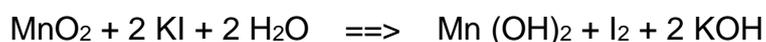
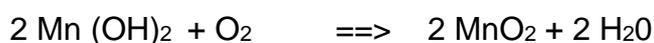
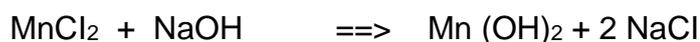
SVI pada instalasi lumpur aktif konvensional berkisar antara 50 – 150 ml/g. Dimana SVI yang optimal ditentukan secara eksperimen. Lumpur dengan SVI rendah menunjukkan karakteristik pengendapan dan kerapatan yang bagus.

### 2. Oksigen Terlarut ( *Dissolved Oxygen / DO* )

Oksigen terlarut ( DO ) adalah jumlah oksigen terlarut dalam air yang berasal dari fotosintesa dan absorpsi atmosfer/udara. Oksigen terlarut di suatu perairan sangat berperan dalam proses penyerapan makanan oleh

mahluk hidup dalam air. Untuk mengetahui kualitas air dalam suatu perairan, dapat dilakukan dengan mengamati beberapa parameter kimia seperti oksigen terlarut (DO). Semakin banyak jumlah DO (*dissolved oxygen*) maka kualitas air semakin baik. Kadar oksigen terlarut yang terlalu rendah akan menimbulkan bau yang tidak sedap akibat degradasi anaerobik yang mungkin saja terjadi. Satuan DO dinyatakan dalam persentase saturasi. Oksigen memegang peranan penting dalam sistem penanganan biologi, karena oksigen bertindak sebagai akseptor elektron (Rahayu, 1993). Untuk mempertahankan kondisi aerobik pada penanganan biologi maka konsentrasi oksigen terlarut harus dijaga diatas 1 mg/l.

Analisis oksigen terlarut dapat ditentukan dengan 2 cara yaitu dengan pengukuran DO meter dan dengan menggunakan metoda titrasi Winkler. Reaksi kimia yang terjadi pada titrasi Winkler dapat dijabarkan sebagai berikut :



Rumus untuk perhitungan DO dihitung dengan persamaan :

$$DO = \frac{a \times f \times 1000 \times 0,2}{v - 2} \quad (2)$$

Di mana :  $DO$  = Banyaknya oksigen terlarut (mg/l)

$a$  = Volume titrasi  $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$

$f$  = Angka standardisasi larutan  $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$

$v$  = Volume botol inkubasi ( ml )

Memantau konsentrasi DO sudah pasti sangat berkaitan dengan aerasi. Aerasi yang dimaksud disini mencakup suplai oksigen serta metode pelarutan oksigen ke dalam sistem *activated sludge (mixing)*. *Mixing* dapat dilakukan dengan berbagai cara. Akan tetapi, dalam sistem *activated sludge* selalu diperlukan aerasi secara mekanik karena laju aliran gas oksigen murni yang masuk ke dalam sistem terlalu lambat sehingga sulit untuk menyeragamkan konsentrasi di dalam tangki.

Sebagai *rule of thumb*, kebutuhan oksigen dikatakan terpenuhi apabila konsentrasi DO di dalam reaktor biologi mencapai minimal 1 mg/l. Memang hal ini bisa saja berubah, tergantung kondisi limbah masing-masing instalasi. Saat konsentrasi DO berada di bawah nilai optimalnya, indikator pertama adalah munculnya bakteri berbentuk filamen dalam jumlah yang signifikan di dalam tangki aerasi

Oksigen terlarut dibutuhkan oleh semua jasad hidup untuk pernapasan, proses metabolisme atau pertukaran zat yang kemudian menghasilkan energi untuk pertumbuhan dan pembiakan. Disamping itu, oksigen juga dibutuhkan untuk oksidasi bahan – bahan organik dan anorganik dalam proses aerobik.

Dalam kondisi aerobik, peranan oksigen adalah untuk mengoksidasi bahan organik dan anorganik dengan hasil akhirnya adalah nutrien yang ada pada akhirnya dapat memberikan kesuburan perairan.

Masuknya bahan yang membutuhkan oksigen, baik bahan organik maupun anorganik akan mengakibatkan berkurangnya oksigen terlarut dalam air. Hal ini diakibatkan karena organisme akan menggunakan oksigen terlarut untuk mengurai limbah dalam tangki aerasi.

Tangki aerasi merupakan bagian yang penting dari fasilitas pengolahan limbah. Beberapa instalasi pengolahan mengembangkan tangki aerasi yang dapat mensinkronkan kondisi aerobik dan aerob melalui panjangnya tangki aerasi untuk menghilangkan nitrogen dan fosfor dari limbah. Kuncinya adalah pengontrolan terhadap oksigen terlarut. Oksigen terlarut optimal berada pada kisaran 1 mg/l sampai 4 mg/l ( KIMA, 2001 ).

### **3. MLSS ( *Mixed Liquor Suspended Solid* )**

MLSS merupakan salah satu kontrol pada sistem lumpur aktif. Pada metoda ini nilai MLSS harus dicari optimumnya sehingga menghasilkan kualitas effluen yang baik serta memiliki efisiensi penghilangan yang tinggi.

MLSS dapat dihitung dengan persamaan berikut :

$$\text{MLSS (mg/l)} = ( A - B ) \times \frac{1000}{C} \quad ( 3 )$$

Dimana :

A = Berat kertas saring + residu tersuspensi (mg)

B = Berat kertas saring (mg)

C = Volume sampel air limbah (l)

Nilai atau range MLSS ditentukan secara eksperimen, range MLSS antara 2000 mg/l sampai 4000 mg/l ( KIMA,2001 ).

Salah satu peranan yang paling menonjol dari sistem lumpur aktif adalah bahwa setiap kilogram BOD yang dihilangkan dari sistem pengolahan sekunder adalah setengah dari padatan baru yang dihasilkan melalui reproduksi ulang organisme dan penambahan organisme baru dari limbah yang masuk. Kontrol terhadap padatan baru yang dibuang harus dijaga agar konsentrasi MLSS dicapai.

Jika konsentrasi MLSS diatas konsentrasi yang diharapkan, maka pembuangan dari padatan berlebih harus sudah dimulai atau ditingkatkan, sedangkan jika konsentrasi MLSS dibawah konsentrasi yang diharapkan, maka proses pembuangan harus diturunkan atau dihentikan.

Untuk mengoperasikan proses lumpur aktif dengan baik, maka pengendapan dari *mixed liquor* harus dicapai. MLSS akan mengendap di *clarifier* dan kemudian dikembalikan ke tangki aerasi sebagai *Return Activated Sludge* (RAS).

RAS memungkinkan mikroorganisme hadir lebih lama dalam aliran limbah. Untuk pengoperasian lumpur aktif secara konvensional, nilai RAS

berkisar 20% - 40% dari volume limbah yang masuk. Untuk nilai tersebut harus selalu diperhatikan untuk memperoleh nilai MLSS yang baik.

#### **4. BOD ( *Biological Oxygen Demand* )**

Salah satu sifat yang dapat diuji untuk menentukan tingkat pencemaran air adalah BOD (*Biological Oxygen Demand*) dan COD. Kebutuhan oksigen biokimia atau BOD adalah banyaknya oksigen yang dibutuhkan oleh mikroorganisme untuk menguraikan bahan organik yang mudah terurai. Bahan organik yang tidak mudah terurai umumnya berasal dari limbah pertanian, pertambangan dan industri. Sehingga makin banyak bahan organik dalam air, makin besar BOD nya sedangkan DO (*dissolved oxygen*) akan makin rendah.

Parameter BOD merupakan salah satu parameter yang dilakukan dalam pemantauan parameter air, khususnya pencemaran bahan organik yang tidak mudah terurai. BOD menunjukkan jumlah oksigen yang dikonsumsi oleh respirasi mikro aerob yang terdapat dalam botol BOD yang diinkubasi pada suhu sekitar 20°C selama lima hari, dalam keadaan tanpa cahaya (Boyd, 1998).

#### **C. Bulking**

Bulking merupakan istilah yang dipakai dalam proses lumpur aktif untuk mendefinisikan kondisi *mixed liquor* yang terlalu banyak filamen organismenya. Kehadiran filamen organisme menyebabkan flok biologi menjadi renggang. Filamen organisme yang terdapat dalam proses lumpur

aktif adalah dari berbagai jenis bakteri, *actinomyces*, dan fungi ( Metcalf dan Eddy, 1991 ).

Beberapa metode telah dilakukan untuk mengontrol filamen organisme seperti penambahan kalori pada lumpur kembali (RAS), perubahan konsentrasi oksigen terlarut dalam tangki aerasi, perubahan penambahan limbah pada tangki aerasi untuk meningkatkan rasio F/M, penambahan nutrisi utama seperti nitrogen dan fosfor. Pengontrolan pertumbuhan filamen dapat dicapai dengan campuran yang baik antara RAS dengan limbah yang datang.

Dalam sistem pengolahan limbah secara alami terjadi kultur campuran dari pertumbuhan bakteri yang bersama dengan tumbuhan mikroskopis. Mereka saling bekerjasama dan berkompetisi, jika senyawa organik sudah tersedia maka kompetisi akan semakin meningkat diantara spesies yang berbeda tadi.

Dalam kondisi normal, bakteri sangat dominan dalam lumpur aktif. Spesies yang dominan tergantung pada kondisi lingkungan dalam tangki aerasi ( Hammer, 1977 ), seperti tampak pada Tabel 3 di bawah ini :

Tabel 3. Tipe filamen sebagai indikator yang menyebabkan *sludge bulking*

Penyebab Kondisi	Tipe Filamen
Rendahnya DO	<i>S. natans</i> type 1701 and H. <i>Hydroxsis</i>
Rendahnya F/M	<i>M. parvicella</i> , <i>nocardia spp</i> , and Types 0041, 0675, 1851 and 0803

Tingginya asam organik	<i>Thiothrix I and II, beggiatoa spp., N. limicola II*</i> , and types 021N, 0092*, 0914*, 0581*, 0961* and 0411
Rendahnya nutrien N dan P	Thiothrix I and II, and type 021N. <i>N. limicola III</i>
Rendahnya pH (<pH 6.0)	Fungi
Tingginya lemak/minyak	<i>Nocardia spp., M. parvicella</i>

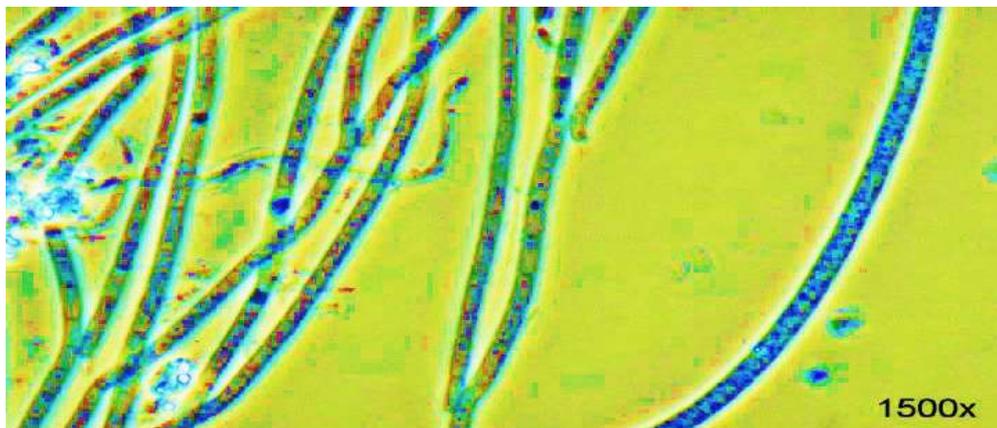
Sumber : Hammer,1977.

Filamen bakteri adalah yang paling banyak menyebabkan masalah bulking pada lumpur aktif, walaupun filamen organisme efektif untuk menghilangkan senyawa organik, namun mereka menghambat pembentukan flok dan proses pengendapan. Bulking bisa juga diakibatkan oleh faktor lain seperti, rendahnya F/M, kurangnya nutrien, pH rendah, tingginya kadar minyak dan rendahnya kadar oksigen. Kondisi tersebut akan membuat lingkungan yang baik bagi fungi sehingga memicu dominasi filamen dari pada pembentukan flok bakteri (Viessman dan Hammer, 1993 ). Seperti terlihat pada Gambar 10 di bawah :



Gambar 10. Filamen penyebab bulking

Penyebab filamen adalah rendahnya konsentrasi oksigen, rendahnya F/M, kurangnya nutrisi, dll ditunjukkan pada Tabel 3. Sedangkan filamen yang muncul pada kondisi kurangnya oksigen dapat dilihat pada Gambar 11 dan Gambar 12 di bawah ini.



Gambar 11. Filamen *bulking* DO rendah

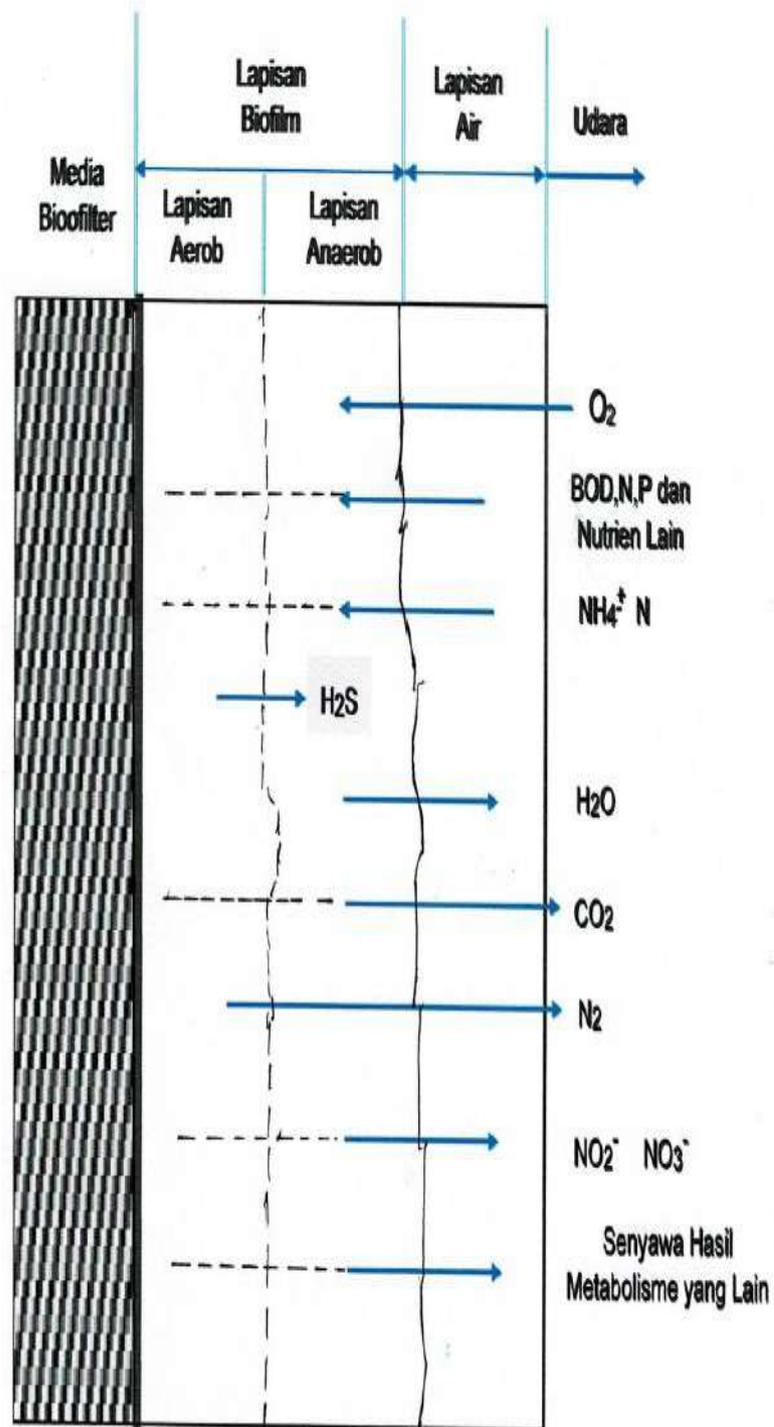


Gambar 12. Bulking yang di sebabkan oleh DO rendah  
(*Sphaerotillus Natans*)

#### **D. Biofilter**

Biofilter dimana mikroorganisme tumbuh dan berkembang di atas suatu media, dapat terbuat dari plastik, keramik, metal, dll, yang didalam operasinya dapat tercelup sebagian atau seluruhnya, atau yang hanya dilewati air saja (tidak tercelup sama sekali), dengan membentuk lapisan lendir untuk melekat diatas permukaan media tersebut sehingga membentuk lapisan biofilm. Proses pengolahan air limbah dengan biofilter secara garis besar dapat dilakukan dalam kondisi aerob, anaerob atau kombinasi anaerob dan aerob. Proses aerobik dilakukan dengan kondisi adanya oksigen terlarut didalam reaktor air limbah. Sedangkan proses kombinasi anaerob dan aerob merupakan gabungan proses anaerob dan proses aerob.

Mekanisme proses metabolisme di dalam sistem biofilm secara aerobik dan sederhana dapat dilihat seperti pada Gambar 13 di bawah ini :



Gambar 13. Mekanisme proses metabolisme di dalam sistem biofilm (Arvin dan Harremoës, 1990).

Gambar tersebut menunjukkan suatu sistem biofilm yang terdiri dari medium penyangga, lapisan biofilm yang melekat pada medium, lapisan alir limbah dan lapisan udara yang terletak diluar. Senyawa polutan yang ada didalam air limbah misalnya senyawa organik (BOD, COD), amoniak, fosfor dan lainnya akan terdifusi kedalam lapisan atau film biologis yang melekat pada permukaan medium. Pada saat yang bersamaan dengan menggunakan oksigen yang terlarut didalam air limbah senyawa polutan tersebut akan diuraikan oleh mikroorganisme yang ada didalam lapisan biofilm dan energi yang dihasilkan akan diubah menjadi biomassa. Suplai oksigen pada lapisan biofilm dapat dilakukan dengan beberapa cara, salah satunya dengan aerasi atau kontak dengan udara luar. Gambar 14 di bawah ini adalah biofilter film model *packing random* setelah proses *seeding*.



Gambar 14. Biofilter film "*Packing Random*"

### E. Penelitian penelitian sebelumnya

Penelitian mengenai bulking dan biofilter pada air limbah, telah banyak dilakukan dengan berbagai metode penelitian, berbagai jenis biofilter dan berbagai macam air limbah. Berikut beberapa penelitian yang terkait dengan bulking antara lain :

1. Decai Jin (2001) dengan judul : *Analysis of bacterial community in bulking sludge using culture dependent and independent approaches*, meneliti tentang jenis jenis bakteri penyebab bulking, menghasilkan total jumlah 63 strain.
2. Isye Aryani Mursalim (2004), meneliti tentang waktu pemberian aerasi pada *Mixed Liquor* untuk menangani bulking, menghasilkan waktu yang optimal dan efektif adalah 3 jam, terhadap parameter *SVI*, *DO* dan *MLSS* dalam menangani *bulking*
3. Nusa Idaman Said, Kristianti Utomo (2007), meneliti tentang pengaruh variasi waktu tinggal (48 jam, 24 jam, 12 jam dan 6 jam) dan rasio resirkulasi (0,25 Q, 0,5 Q dan 1 Q) terhadap efektifitas pengolahan air limbah domestik dengan proses lumpur aktif yang diisi dengan media penyangga bioball sebanyak 40% dari volume bioreaktor secara aerob. Beberapa parameter yang diamati antara lain adalah BOD, COD, amoniak dan TSS. Hasil penelitian ini menunjukkan bahwa pengolahan air limbah domestik dengan proses lumpur aktif yang diisi dengan media penyangga bioball efektif dalam menurunkan polutan organik, amoniak dan total padatan tersuspensi. Semakin lama waktu tinggal air

limbah maka penyisihan BOD, COD, amoniak dan TSS juga semakin besar.

4. . Ir. Nusa Idaman Said, M.Eng (2000) meneliti tentang teknologi alternatif untuk pengolahan air limbah organik menggunakan biofilter terendam., Penggunaan biofilter terendam anaerobik dan aerobik dalam waktu tinggal total satu hari dapat menurunkan konsentrasi BOD, COD dan Suspended Solids (SS) lebih dari 90%.
5. Hong-Gui Han, Zheng Liu, Ya-Nan Guo, Jun-Fei Qiao (2018) dengan judul : *An intelligent detection method for bulking sludge of wastewater treatment process* (Metode deteksi cerdas untuk *bulking sludge* pada proses pengolahan air limbah). Penelitian ini tentang prediksi nilai SVI dari kualitas air dan prediksi terjadinya bulking dengan metoda algoritma identifikasi variabel penyebab (CVI). Hasil penelitian ini menunjukkan bahwa metode ini sangat direkomendasikan dan sudah diaplikasikan di pengolahan air limbah.
- 6.. Fatchul Rahman R., Nur Hidayat dan Sakunda Anggarini (2014), meneliti tentang titik optimum pada aerasi, penambahan inokulum, serta *Hydraulic Retention Time* (HRT) dalam sistem pengolahan air limbah secara aerob. Penelitian ini dilakukan dengan menggunakan Rancangan Komposit Terpusat dengan menggunakan tiga faktor yaitu HRT (5 jam, 7 jam dan 9 jam), penambahan inokulum (5%, 10% dan 15%) dan aerasi (0,15 vvm ; 0,3 vvm ; 0,45 vvm). Hasil penelitian ini menunjukkan bahwa nilai optimal didapatkan dari HRT 9 jam,

penambahan inokulum 15% dan pemberian aerasi 0,45 vvm. Kombinasi tersebut menghasilkan penurunan COD 2.981 mg/L (79%), BOD 675 mg/L (83%) dan TSS 272 mg/L (86%).

7. Weldi D.G., Eric N. dan Guy B.N. (2020), meneliti tentang pengaruh waktu dan oksigenasi terhadap degradasi bahan organik, nitrogen dan fosfat dalam pengolahan secara biologi pada air limbah rumah potong hewan. Membandingkan dua reaktor berpengaduk, satu tanpa aerasi dan satunya diaerasi. Parameter bahan organik, nitrogen dan fosfat dianalisis setiap 3 hari selama 9 hari penelitian, kemudian setiap 6 hari selama 18 hari. Hasil penelitian menunjukkan bahwa efluen umumnya bersifat basa pada kedua perlakuan. Proses biodegradasi lebih cepat pada reaktor yang diaerasi, dimana optimal pada 9 hari. Oksigenasi mendukung percepatan biodegradasi polutan dan mengurangi kadar polutan dalam air limbah.

## F. Hipotesis

Waktu aerasi dengan menggunakan sistem kombinasi biofilter dan RAS yang optimal berpengaruh sangat nyata terhadap parameter *sludge volume indeks* (SVI), *dissolved oksigen* (DO), dan *mixed liquor suspended solid* (MLSS), menghasilkan kombinasi penambahan biofilter yang tepat dan penambahan RAS yang optimal untuk menangani *bulking* yang efisien.

## G. Variabel Penelitian

Dalam penelitian ini ada dua variable, yaitu variabel tetap dan variabel bebas.

### 1. Variabel Tetap

Yang termasuk variabel tetap antara lain :

1. Volume air limbah 1000 ml per satuan percobaan
2. Bioreaktor eksperimen volume 3100 ml
3. Desain model bioreaktor kombinasi biofilter dan RAS
4. Biofilter model *packing random*, dengan spesifikasi : diameter 1 cm, luas penampang  $12,28 \text{ cm}^2$  dan berat satuan 200 mg
5. Debit udara aerator 1,9 l/detik
6. Suhu ruangan
7. Jumlah eksperimen 36 satuan percobaan dengan ulangan 3 kali, sehingga jumlah total eksperimen 108 satuan percobaan.

### 2. Variabel Bebas

Adapun variabel bebas dari eksperimen ini antara lain :

1. Waktu Aerasi :1 jam (A1) , 2 jam (A2), 3 jam (A3 ) dan 4 Jam (A4)
2. Jumlah Biofilter yaitu 200 buah (B1), 300 buah (B2) dan 400 buah (B3)
3. *Return Activated Sludge* sebanyak 10% (C1) , 20% (C2) dan 30% (C3).