

MONOGRAF **MENGOLAH LIMBAH CAIR DOMESTIK** **DILAHAN SEMPIT**

Penggunaan Teknologi Sequencing Batch Reactor



Monograf
MENGOLAH LIMBAH CAIR
DOMESTIK DI LAHAN SEMPIT
Penggunaan Teknologi
Sequenching Batch Reactor

Dr. Ir. Novirina Hendrasarie, MT.



**PERPUSTAKAAN NASIONAL REPUBLIK INDONESIA
KATALOG DALAM TERBITAN (KDT)**

**Monograf MENGOLAH LIMBAH CAIR DOMESTIK DI
LAHAN SEMPIT Penggunaan Teknologi
*Sequenching Batch Reactor***

Penulis

Dr. Ir. Novirina Hendrasarie, MT.

E-mail : novirina@upnjatim.ac.id

Desain Cover

Ana Sofyaningrum

Layout

Mohammad Soeroso, BE

Copyright © 2021 PMN Surabaya

Diterbitkan & Dicetak Oleh

CV. Putra Media Nusantara (PMN), Surabaya 2021

Jl. Griya Kebraon Tengah XVII Blok FI - 10, Surabaya

Telp/WA : 085645678944

E-mail : penerbitpmn@gmail.com

Anggota IKAPI no.125/JTI/2010

ISBN : 978-623-6611-42-5

Hak cipta dilindungi oleh Undang-undang

Ketentuan Pidana Pasal 112 - 119

Undang-undang Nomor 28 Tahun 2014

Tentang Hak Cipta.

**Dilarang keras menerjemahkan, memfotokopi, atau
memperbanyak sebagian atau seluruh isi buku ini tanpa izin
tertulis dari penerbit**

PRAKATA

Limbah domestik memiliki kandungan limbah organik tinggi. Beberapa jenis limbah domestik adalah limbah rumah tangga, apartemen, restoran, bah *home indutri* makanan, dan lain-lain. Limbah apartemen yang termasuk kategori limbah domestik, memiliki karakteristik yang unik. Hal ini karena apartemen selain digunakan untuk tempat tinggal, juga digunakan usaha komersial yang memfasilitasi kegiatan penghuni. Beberapa kegiatan komersial, yaitu restoran, *laundry*, supermarket, dan lain-lain. Limbah yang dihasilkan dari kegiatan komersial tersebut, memiliki karakteristik zat pencemar yang beragam, misal limbah laundry memiliki kandungan fosfat dan surfaktan yang tinggi, limbah restoran kandungan minyak lemak yang tinggi, hal ini yang menambah beban organik pada limbah apartemen secara keseluruhan.

Penanganan limbah apartemen, umumnya menggunakan pengolahan biologis, rata-rata menggunakan *activated sludge* sebagai pengolahan utama. Hal ini tidak menjadikan kendala, jika lahan yang tersedia tercukupi. Masalahnya, jika lahan yang tersedia terbatas di apartemen. Alternatif penggunaan teknologi *activated sludge* masih bisa dilakukan, *activated sludge* tipe *Sequencing Batch Reactor*. *Sequencing Batch Reactor*, mekanisme kerjanya, memanfaatkan proses ekualisasi, aerasi, hingga sedimentasi hanya dalam satu reaktor. Hal ini yang merupakan solusi bagi yang memiliki keterbatasan lahan. Dalam buku ini, akan dibahas secara tuntas teknologi *Sequencing batch Reactor* dalam mengolah limbah apartemen, ditinjau dari teori maupun penelitian yang kami lakukan. Selain itu, dalam buku ini juga menjelaskan teknologi yang mampu meningkatkan kinerja dari *Sequencing Batch Reactor*. Modifikasi yang diterapkan pada *Sequencing Batch Reactor* (SBR) dalam buku ini dijelaskan dengan menambahkan adsorben dan modifikasi yang kedua menambahkan serabut kelapa sebagai media tempat berkembang biaknya biofilm. Seperti kita

tahu, bakteri pengurai yang bekerja pada SBR adalah bakteri yang tersuspensi pada limbah. Dengan adanya biofilm, akan terjadi konsorsium antara bakteri tersuspensi dengan bakteri yang melekat pada serabut kelapa, atau disebut biofilm. Sedangkan pada penambahan adsorben, ditambahkan proses fisik yaitu penjerapan zat pencemar organik, dengan menggunakan adsorben. Penambahan proses fisik adsorbsi ini, meringankan beban kerja bakteri tersuspensi sebagai bakteri pengurai di SBR.

Diharapkan dengan adanya modifikasi pada SBR, yang memiliki karakteristik proses yang berbeda, mampu meningkatkan kinerja SBR sebagai pengolah limbah domestik, yaitu apartemen. Selain itu, modifikasi memiliki keuntungan, memangkas waktu pengolahan di SBR, sehingga efektifitas penurunan zat pencemar organik meningkat.

Harapan penulis, buku ini memberikan inspirasi maupun informasi yang bermanfaat bagi pembaca dan dapat menjadi rujukan bagi penelitian mengenai teknologi *Sequencing Batch Reactor*. Amien ya rabbal alamiin.

Surabaya, Agustus 2021

Penulis

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL.....	i
PRAKATA	iii
DAFTAR ISI	v
DAFTAR GAMBAR	vii
DAFTAR TABEL	ix
BAB 1. PENDAHULUAN	1
A. Air Limbah Domestik Permasalahan dan Penanganannya.....	1
B. Kemampuan Sequencing Batch Reactor Dalam Mengolah Limbah Cair Domestik di Lahan Sempit	3
C. Tujuan Penulisan dan Isi Buku	5
D. Novelty	6
BAB 2. DATA DAN TEORI.....	9
A. Limbah Cair Domestik	9
B. Pengolahan Limbah Cair Secara Biologis	10
C. Mekanisme Proses Pengolahan Limbah Secara Aerob.....	12
D. Lumpur Aktif (Activated Sludge)	13
E. <i>Sequencing Batch Reactor</i>	13
F. Modifikasi Dalam <i>Sequencing Batch Reactor</i> ..	14
G. Data Penelitian	20
H. Parameter Proses Lumpur Aktif Sequencing Batch Reactor	22
I. Modifikasi Dalam Sequencing Batch Reactor..	27
J. Data Penelitian	33
BAB 3. PEMBAHASAN DAN PEMECAHAN MASALAH	
A. Seeding dan Aklimatisasi	41

B. Efektifitas Penambahan Media Penyangga Biofilm.....	43
C. Efektifitas Penambahan Adsorben	47
D. Optimasi Waktu Retensi Hidraulik dan Laju Aerasi	58
E. Kondisi <i>Dissolved Oxygen</i> , pH dan Suhu Saat Operasional	59
F. Identifikasi Bakteri Pendegradasi Limbah Domestik	67
 BAB 4. PENUTUP	
A. Simpulan.....	69
B. Rekomendasi	70
 DAFTAR BACAAN	 71

BAB 1

PENDAHULUAN

A. Air Limbah Domestik Permasalahan dan Penanganannya

Pesatnya perkembangan penduduk di Indonesia, bersamaan dengan pesatnya perkembangan rumah penduduk. Hal ini berdampak pada semakin sulitnya ketersediaan lahan. Tidak terkecuali dengan hasil buangan yang berupa limbah cair domestik yang semakin meningkat. Air limbah domestik merupakan air limbah bukan limbah bahan berbahaya dan beracun, yang berasal dari buangan jamban, buangan mandi dan cuci serta buangan hasil usaha atau kegiatan rumah tangga dan kawasan permukiman, rumah makan, perkantoran, perniagaan, hotel, apartemen dan asrama. Pengelolaan air limbah domestik memerlukan perhatian khusus dari pemerintah maupun masyarakat, agar limbah tersebut tidak menyebabkan dampak buruk kepada masyarakat. Limbah domestik ini berdampak sangat vital pada kesehatan manusia dan lingkungannya, jika tidak dilakukan penanganannya dengan baik. Terutama di kondisi pandemi Covid 19 seperti saat ini, perlunya kehati-hatian dan ketepatan dalam penanganan limbah domestik.

Dampak yang ditimbulkan dari limbah cair domestik, jika tidak tertangani dengan baik, merusak ekosistem air, meningkatkan pertumbuhan enceng gondok, mengganggu sumber air minum penduduk, meresap ke dalam sumur-sumur, menimbulkan bibit penyakit dan bau tak sedap. Untuk mencegah dampak tidak semakin terakumulasi, maka perlu penanganan limbah cair domestik.

Penanganan air limbah cair domestik pada umumnya dilakukan dengan dua cara, yaitu untuk *black water* (air limbah yang bersumber dari closet), akan dialirkan ke tangki septik sedangkan *grey water* (air limbah yang bersumber dari kamar

mandi, dapur, tempat cucian), dialirkan langsung ke saluran drainase tanpa pengolahan. Sering kali *grey water* yang tidak ditangani seperti itu menimbulkan masalah lingkungan yang serius, hal ini sering dijumpai terjadi di perumahan penduduk.

Kandungan yang ada pada air limbah domestik biasanya terdapat bahan-bahan organik yang berasal dari air bekas cucian dapur dan kamar mandi dan terdapat mikroorganisme yang berasal dari *black water* serta nutrisi berupa senyawa nitrogen (N) dan fosfor (P) (Said, 2017). Penerapan pengolahan limbahnya, lebih baik jika bisa diterapkan dengan biaya yang rendah, efektif, memiliki efisiensi ruang dan menggunakan teknologi yang mudah dioperasikan terutama untuk *home industry* yang karakteristik limbahnya adalah limbah domestik. Dimana *home industry*, hanya memiliki sedikit lahan untuk pengolahan limbahnya.

Bab ini membahas secara khusus mengenai alternatif teknologi pengolahan limbah cair domestik, yang memiliki efisiensi ruang yang tinggi. Tanpa mengurangi efektivitasnya dalam mendegradasi zat organik didalam limbah domestik. Selain itu bab ini menguraikan faktor pengaruh laju aerasi dan waktu operasional yang dibutuhkan untuk menurunkan kandungan organik pada air limbah domestik. Berikutnya bab ini juga memaparkan apa saja yang melandasi penulisan buku ini beserta materi-materi yang dibahas di dalamnya. Pada prinsipnya, bab ini mengelaborasi secara khusus hasil riset yang penulis lakukan dan ditunjang oleh sejumlah riset-riset terkait. Di bagian awal bab ini disajikan teknologi pengolahan limbah domestik. Berikutnya, bab ini menguraikan secara spesifik kemampuan Sequencing Batch Reactor dan modifikasinya, dalam mendegradasi limbah cair domestik di lahan sempit, yang menjadi perhatian utama. Bagian akhir dari bab ini, berisi substansi dan tujuan dituliskannya buku ini.

B. Kemampuan Sequencing Batch Reactor Dalam Mengolah Limbah Cair Domestik di Lahan Sempit

Bahan organik dan nutrisi berlimpah dalam air limbah domestik, yang dapat membahayakan dan mencemari ekosistem serta kesehatan manusia. Oleh karena itu, pengolahan air limbah harus dilakukan sebelum dibuang ke lingkungan untuk mengurangi dan menghilangkan kadar polutan dalam air limbah. Salah satu alternatif pengolahan air limbah adalah dengan pengolahan secara biologis. Pengolahan secara biologis merupakan teknologi pengolahan air limbah yang melibatkan mikroorganisme yang telah ditumbuhkan untuk menempel pada media (Bakare et al., 2017; Li et al., 2008; Zhao et al., 2021). Prosedur anaerobik dan aerobik, masing-masing, adalah dua prosedur perawatan biologis yang menggunakan oksigen.

Sequencing Batch Reactor (SBR) adalah salah satu teknologi lumpur aktif di mana semua fase, mulai dari pemuatan hingga pengendapan, diselesaikan dalam satu tangki. Pengisian, reaksi, pengendapan, penarikan, dan pemalasan adalah lima fase dari proses SBR (Fatone *et al.*, 2011; Metcalf & Eddy, 2014; Obaja *et al.*, 2005; Wei *et al.*, 2012). Pengoperasian SBR didasarkan pada dua prinsip utama: 1) material dalam tangki harus dibuang sebagian selama proses pembuangan, dan 2) jumlah air limbah yang masuk selama tahap pengisian harus setara dengan volume air limbah yang dikeluarkan selama fase pemakaian (Cervantes, 2009; Dutta & Sarkar, 2015; Maschal Tarekegn, 2018).

Beberapa penelitian di atas, kurang memperhatikan ketersediaan lahan pengolahan limbah, khususnya pada limbah domestik seperti apartemen maupun hotel. Untuk meningkatkan performa *Sequencing Batch Reactor*, agar efisien pengolahannya ditinjau oleh waktu dan ketersediaan lahan, ini yang kurang dipikirkan solusinya. Padahal permasalahan di Indonesia, adalah kurangnya ketersediaan lahan yang cukup untuk pelaku industry

menengah ke bawah, misalnya *home industri*, apartemen, rumah susun, untuk mengolah limbahnya. Menurut laporan dari Badan Pengkajian dan Penerapan Teknologi (BPPT), 2018, penyumbang terbesar pencemaran pada badan air perkotaan dan sungai adalah dari limbah domestik.

Untuk itu, didalam buku ini, pembaca dapat mempelajari *advance technology* mengolah limbah domestik, menggunakan *Sequenching Batch Reactor*, dengan modifikasinya. Penggunaan modifikasi ini, bertujuan, meningkatkan performa kinerja dari *Sequenching Batch Reactor*. Modifikasi yang akan dijelaskan dalam buku ini, dengan penambahan adsorban, juga modifikasi lain menggunakan media penyangga biofilm. Biofilm disini, yang dimaksud adalah sejumlah bakteri yang melekat pada suatu media, dan bakteri tersebut berfungsi sebaga pendegradasi dari limbah.

Adapun beberapa faktor yang berpengaruh dalam kinerja *Sequenching Batch Reactor*, akan juga dibahas tuntas dalam buku ini. Faktor terpenting yang harus diperhatikan adalah laju aerasi dan waktu retensi hidraulik. Laju aerasi, berperan terhadap ketersediaan oksigen terlarut di dalam air. Ketersediaan oksigen terlarut di dalam air, biasanya disebut DO (*Dissolved Oxygen*) berpengaruh terhadap kehidupan mikroba aerob yang berperan mendegradasi kandungan pencemar di air limbah. Selain itu, DO berfungsi menjaga air limbah tidak berbau. Faktor kedua, yang berperan terhadap kinerja *Sequenching Batch Reactor*, adalah zat waktu retensi hidraulik. Waktu retensi hidraulik, berperan terhadap waktu operasional reactor dan volume air limbah didalam reactor. Bakteri pendegradasi air limbah, memiliki siklus hidup dari fase pertumbuhan yang sangat cepat (*eksponensial*), fase kecepatan pertumbuhan yang berkurang (*lag phase*) hingga fase kematian (*death fase*), yang dikenal dengan ‘siklus mikroba’. Siklus ini, yang berpengaruh pada kecepatan bakteri dalam mendegradasi zat pencemar di air limbah, di fase inilah, adalah salah satu faktor terpenting yang diperhitungkan pada waktu retensi hidraulik.

Sehingga reactor *Sequencing Batch Reactor* yang dirancang harus mengikuti beberapa kaidah desain yang berlaku. Modifikasi yang dilakukan, dapat bermacam-macam, misalnya dengan penambahan media biofilm, adsorben, impeleller, membagi siklus SBR dan lain-lain. Dalam buku ini akan di-bahas modifikasi dengan menggunakan media biofilm dan penambahan adsorben. Di edisi mendatang, akan kami bahas modifikasi-modifikasi yang lain, yang sudah diteliti oleh kami. Sehingga pembaca bisa memilih teknologi modifikasi yang sesuai dengan karakteristik limbah dan kondisi lahannya. Manfaat dari penelitian ini adalah memberikan sumbangsih saran teknologi pengolahan limbah cair domestik, yang lebih efektif, fleksibel serta memiliki efisiensi ruang yang tinggi.

C. Tujuan Penulisan dan Isi Buku

Permasalahan air limbah domestik yang belum tuntas untuk lahan yang terbatas, alternatifnya akan dibahas dalam buku ini. Penggunaan *Sequencing Batch Reactor*, yang dimodifikasi dengan penambahan media penyangga biofilm, agar bisa diapli-kasikan pada masyarakat industri menengah ke bawah, yang memiliki kendala pada lahan yang terbatas. Hal ini yang diangkat oleh penulis dalam penulisan buku ini, menjadi tujuan dalam penulisan buku monograf ini.

Selanjutnya secara substantive, buku ini berisikan empat hal pokok yang berkaitan dengan mengolah limbah domestik, yang menggunakan *Sequencing Batch Reactor* dimodifikasi. Diharapkan, pembaca akan mendapat gambaran tentang (1) kemampuan *Sequencing Batch Reaktor* (SBR) dengan penambahan media penyangga biofilm, dalam penelitian ini dipilih ijuk dan sabut kelapa. (2) Adapun zat pencemar yang dominan terdapat dalam limbah cair domestik adalah yang termasuk dalam golongan zat organik, adalah *Biological Oxygen Demand* (BOD₅), *Total Suspended Solid* (TSS) dan Nitrogen Total. (3) Optimasi beberapa faktor yang berperan penting, pada kinerja *Sequencing*

Batch Reactor, salah satunya adalah waktu retensi hidraulik, dan laju aerasi. (4) Mengetahui genus mikroorganismenya yang berperan pada *Sequencing batch reactor* (SBR) untuk mendegradasi limbah domestik (4) Konversi rancangan *Sequencing Batch Reactor* jika diaplikasikan pada kondisi lapangan.

Oleh karena itu, kajian dalam buku ini adalah menjelaskan konsep desain reactor pengolah limbah domestik yang masih dalam skala laboratorium, yang dapat dikembangkan pada kondisi lapangan. Sehingga keberlanjutan pengolahan limbah domestik pada lahan sempit dapat terus dikembangkan. Selain itu, buku ini diharapkan dapat memberikan sumbangsan teori substantive ilmu pengetahuan dibidang pengolahan limbah cair. Sehingga buku ini diharapkan dapat memberikan kontribusi dalam mengatasi masalah lingkungan, dan kontribusinya untuk masyarakat khususnya, pelaku home industri bidang bahan pangan, apartemen, hotel, rumah sakit, dan lain-lain, sebagai penghasil limbah cair domestik.

D. Novelty

Penerapan SBR dalam pengolahan air limbah domestik (BOD₅, COD, TSS, N, P removal). Seperti yang dinyatakan peneliti sebelumnya oleh Fernandez *et al.*, 2013, SBR dapat digunakan untuk menghilangkan COD dan TSS, serta nitrifikasi, denitrifikasi, dan fosfor biologis. Kemampuan ini dirujuk dalam banyak literatur. Dari jumlah tersebut, salah satunya adalah sCOD yang dihilangkan rata-rata 83% di air limbah perkotaan. Pada hari ke 22, 63, dan 113, dengan nilai masing-masing 72%, 65%, dan 66%, efisiensi penyisihan lebih rendah dari rata-rata. Konsentrasi oksigen yang rendah mempengaruhi rata-rata eliminasi nitrogen total, yaitu 50%. Keefektifan pembersihan rata-rata konsentrasi fosfor ditemukan 50%. dengan laju pemuatan organik 0,6 g COD/L/hari. Dalam studi lain, (Muhammed dan Kheria, 2020) untuk pengolahan air limbah perkotaan, kinerja reaktor *Sequencing Batch Reactor* (SBR) pada lumpur granular aerobik diselidiki.

Setelah 30 hari beroperasi, butiran pertama yang diamati memiliki diameter rata-rata 0,1 mm dan diinjeksi dengan lumpur aktif aerobik yang diambil dari instalasi pengolahan air limbah. Konsentrasi biomassa mencapai sekitar 4 g VSS L⁻¹. *Organic Loading Rate* (OLR) yang diterapkan berkisar antara 1,77 hingga 3,60 g/L/d sCOD, dan konsentrasi *soluble Chemical Oxygen Demand* (sCOD) inlet fluktuatif pada 422 dan 817 mg/L sCOD. Meskipun demikian, efisiensi penyisihan bahan organik tetap relatif stabil dari hari ke 0 hingga 60, mencapai persentase untuk sisa waktu operasional. Denitrifikasi dibatasi, yang diukur dengan penghilangan nitrogen rata-rata hanya 21%. Efisiensi penyisihan fosfat tidak menunjukkan pola yang berbeda. Perubahan konsentrasi asupan fosfat paling mungkin disalahkan untuk ini. Antara 71 dan 119 hari, nilai maksimum sekitar 80% tercapai.

Adsorben memiliki beberapa keunggulan dalam hal menghilangkan senyawa organik dan anorganik. Salah satunya dapat menyerap kontaminan organik melalui metode yang mampu mengikat permukaan karbon aktif, memungkinkan polutan untuk dihilangkan dari air limbah (Trilita, *et al.*, 2016; Hendrasarie, *et al.*, 2019). Penelitian sebelumnya yang memanfaatkan PAC, seperti Sekarani *et al.*, 2020; Hendrasarie dan Maria, 2021, telah menunjukkan pemanfaatan adsorben untuk menurunkan kandungan organik. Menurut temuan penelitian, PAC dapat menghilangkan kontaminan organik tingkat tinggi hingga lebih dari 90%. Sepengetahuan penulis, sabut kelapa pertama kali digunakan sebagai media perekat biofilm di SBR adalah oleh Wijaya, *et al.*, 2013. Dengan menggunakan HRT 7-8 jam dan mengubah waktu stabilitas menjadi 3-8 jam, menyelidiki air limbah di air limbah rumah sakit. COD turun 60,94%, N (TKN) turun 73,03%, dan PO₄ turun 89,27%.

Merujuk pada persoalan di atas, *state of the art* buku ini, yang menunjukkan aspek original dan keunggulan dari aspek substansi, yaitu:

Hydraulic Retention Time yang digunakan dalam penelitian ini, dipilih HRT 12, 24 dan 36 jam. Pemilihan angka dalam HRT ini, berbeda dengan peneliti lain, rata-rata pada HRT singkat (2-8 jam) atau HRT lama (22-113 hari). HRT yang singkat (2-8 jam) dari pembahasan sebelumnya, menghasilkan penyisihan zat organik COD sebesar 60,94 %, N (TKN) sebesar 73,03 % dan P (PP) sebesar 89,27 % (Dian *et al.*, 2018). Sedangkan pada HRT lama (22-113 hari) menghasilkan penyisihan COD pada kisaran 66-83% (Fernandez *et al.*, 2013). Bertolak dari beberapa peneliti tersebut, dalam penelitian ini dipilih 12,24 dan 36 jam, yang diharapkan mampu menyisihkan zat organik COD, Total Nitrogen, Total Phosphat dan TSS, lebih tinggi dari penelitian sebelumnya.

Pemilihan bahan-bahan modifikasi dari reactor *Sequencing Batch Reactor*, merupakan limbah yang tidak terpakai. Tujuannya untuk menekan biaya operasional dan menjaga lingkungan. Negeri kita memiliki kekayaan alam yang melimpah, limbah yang dihasilkannya pun bisa kita daur ulang untuk pemanfaatan lain. Adapun bahan – bahan penunjang didalamnya merupakan limbah padat, yang melimpah dan dibuang begitu saja oleh masyarakat. Bahan penyangga biofilm menggunakan ijuk dan sabut kelapa, merupakan limbah padat yang terbuang begitu saja. Limbah padat tersebut, dapat dimanfaatkan kembali

Jadi, pada dasarnya mengolah limbah cair domestik, tidak serumit dan mahal seperti yang kita bayangkan.

BAB 2

TEORI DAN DATA

Pada bagian ini, dibahas mengenai teori-teori yang mendukung topik bahasan yang sudah diuraikan di bab 1 sebelumnya. Selain teori-teori pendukung, pada bab ini juga dikemukakan sejumlah riset-riset lain yang relevan dengan topik bahasan dalam buku ini. Pada pembahasan terakhir, disajikan data-data yang merupakan hasil riset penulis.

A. Parameter-parameter dalam Air Limbah

Dalam air limbah terdapat parameter-parameter yang perlu untuk diketahui. Parameter tersebut dapat menentukan kualitas dan karakteristik dari air limbah tersebut. Beberapa parameter tersebut diantaranya (Mulia, 2005):

- a. **BOD₅ (*Biological Oxygen Demand*)**
Adalah banyaknya oksigen dalam ppm atau miligram/liter (mg/L) yang diperlukan untuk menguraikan benda organik oleh bakteri pada suhu 20°C selama 5 hari. Biasanya dalam waktu 5 hari, sebanyak 60-70% kebutuhan terbaik karbon dapat tercapai. BOD₅ hanya menggambarkan kebutuhan oksigen untuk penguraian bahan organik yang didekomposisikan secara biologis (*biodegradable*).
- b. **COD (*Chemical Oxygen Demand*)**
Jumlah total oksigen yang diperlukan untuk mengoksidasi bahan organik secara kimiawi. Oksigen yang dikonsumsi setara dengan jumlah dikromat yang diperlukan untuk mengoksidasi air sampel.
- c. **Oksigen terlarut (*Dissolved Oxygen* atau DO)** Adalah banyaknya oksigen yang terkandung di dalam air dan diukur dalam satuan miligram perliter. Oksigen terlarut ini digunakan sebagai tanda derajat pengotoran limbah yang ada. Semakin

besar oksigen terlarut, maka menunjukkan derajat pengotoran yang relatif kecil.

- d. **Kesadahan (*hardness*)**
Adalah gambaran kation logam divalen (valensi 2) yang terdapat dalam air. Kationkation ini dapat bereaksi dengan sabun membentuk endapan (presipitasi) maupun dengan anion-anion yang terdapat di dalam air membentuk endapan atau karat pada peralatan logam.
- e. ***Settleable Solid***
Adalah lumpur yang mengendap dengan sendirinya pada kondisi yang tenang selama 1 jam secara gaya beratnya sendiri.
- f. ***TSS (Total Suspended Solid)***
Adalah jumlah berat dalam mg/L kering lumpur yang ada di dalam air limbah setelah mengalami penyaringan dengan membran berukuran 0,45 mikron. Suspended solid (material tersuspensi) dapat dibagi menjadi zat padat dan koloid. Selain suspended solid ada juga istilah dissolved solid (padatan terlarut).
- g. ***MLSS (Mixed Liquor Suspended Solid)***
Adalah jumlah TSS yang berasal dari bak pengendap lumpur aktif setelah dipanaskan pada suhu 103oC-105oC.
- h. ***MLVSS (Mixed Liquor Volatile Suspended Solid)***
Adalah kandungan organic matter yang terdapat dalam MLSS. Didapat dari pemanasan MLSS pada suhu 600°C, benda *volatile* menguap disebut MLVSS.
- i. **Kekeruhan (*turbidity*)**
Adalah ukuran yang menggunakan efek cahaya sebagai dasar untuk mengukur keadaan air sungai, kekeruhan ini disebabkan oleh adanya benda tercampur atau benda koloid dalam air.

B. Limbah Cair Domestik

Limbah cair domestik adalah limbah yang berasal dari berbagai aktivitas rumah tangga. Dalam berbagai kegiatannya,

limbah cair domestik terbagi dalam dua kategori, yang pertama adalah limbah cair domestik yang berasal dari air cucian, dan yang kedua adalah limbah cair yang berasal dari *water closet* (WC), seperti tinja dan air seni (Zahidah and Shovitri, 2013). Berdasarkan Peraturan Gubernur Jawa Timur No. 72 Tahun 2013 tentang baku mutu air limbah bagi industri dan/atau kegiatan usaha lainnya, maka parameter kunci untuk air limbah domestik adalah BOD₅, COD, TSS, pH, serta Lemak dan Minyak. Dengan adanya Peraturan Gubernur ini, maka air limbah domestik yang akan dibuang menuju badan air harus memenuhi baku mutu agar terjadi upaya pencegahan pencemaran lingkungan. Limbah cair domestik mengandung 99,9% air dan 0,1% zat padat. Zat padat terdiri dari 85% protein; 25% karbohidrat; 10% lemak dan sisanya zat anorganik terutama butiran pasir, garam dan logam. Baku mutu nitrogen pada air limbah domestik tidak tercantum di dalam Peraturan Gubernur Jawa Timur nomor 72 Tahun 2013 sehingga tidak ada batas minimum bagi pemukiman untuk membuang limbah domestik yang mengandung banyak nitrogen yang berasal dari kamar mandi maupun dari aktivitas lainnya.

Berikut adalah Baku Mutu Air Limbah Domestik menurut Peraturan Gubernur Jawa Timur nomor 72 Tahun 2013, berisi tentang baku mutu air limbah domestik pada **Tabel 2.1** dibawah ini.

Tabel 2.1 Baku Mutu Air Limbah Domestik

Nilai Baku Mutu Air Limbah Domestik Volume Maksimal air limbah 120 L/orang.hari	
BOD ₅ (mg/L)	30
COD (mg/L)	50
TSS (mg/L)	50
Minyak dan Lemak (mg/L)	10
pH	6-9

Sumber: Pergub Jatim Nomor 72/2013

C. Pengolahan Limbah Cair Secara Biologis

Salah satu pengelolaan alternatif yang dapat diaplikasikan dalam mengelola limbah adalah pengelolaan secara biologi yang dikenal sebagai biodegradasi. Biodegradasi adalah suatu proses oksidasi senyawa organik oleh mikro-organisme, baik di perairan, tanah, dan instalasi pengelolaan air limbah (Paramita *et al.*, 2012). Hampir semua jenis limbah cair dapat diolah secara biologi bila dilakukan melalui analisis dan kontrol lingkungan yang benar. Proses pengolahan biologi merupakan proses pengolahan air limbah dengan memanfaatkan aktivitas pertumbuhan mikro organisme yang berkontak dengan air limbah. Pemecahan zat organik menjadi senyawa yang sederhana oleh mikroorganisme dilakukan secara aerob (dengan udara), dan anaerob (tanpa udara), maupun gabungan keduanya (Metcalf & Eddy, 2003). Secara aerob yang melaksanakan pemecahan zat-zat organik adalah mikroorganisme aerob yang hidup dengan adanya udara dan mikroorganisme fakultatif. Sedangkan secara anaerob yang melaksanakan adalah bakteri anaerob yang dapat hidup dan bekerja tanpa adanya udara (Metcalf & Eddy, 2003).

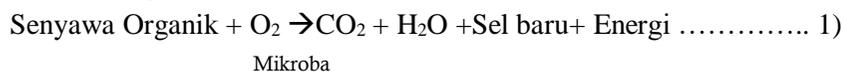
Pada pengolahan limbah yang mengandung bahan organik kebanyakan menggunakan pengolahan biologis untuk mendegradasi bahan organik yang terkandung dalam limbah, karena pada pengolahan biologis ini menggunakan aktifitas mikroorganisme. Kandungan limbah yang akan didegradasi oleh mikroorganisme seperti minyak, lemak, karbohidrat, protein, hidrokarbon, dan fenol menjadi senyawa organik sederhana dengan mengubahnya menjadi senyawa CO₂, CH₄, H₂, H₂S, air, dan energi yang dibutuhkan untuk proses pekembangbiakan mikroorganisme itu sendiri (Retnosari and Shovitri, 2013)

Keberhasilan pengolahan air limbah secara biologi tergantung dari aktivitas mikroorganisme didalamnya. Karena itu diperlukan perlakuan khusus yang mampu menjaga keseimbangan

pertumbuhan mikroorganismenya dengan mengontrol parameter-parameter yang dibutuhkan dalam pengolahan biologi. Faktor-faktor yang mempengaruhi pertumbuhan mikroorganismenya dalam proses oksidasi biologi adalah oksigen dalam air limbah, nutrisi (sebagai makanan air limbah harus cukup mengandung Nitrogen dan Fosfat supaya lumpur biologi dapat tumbuh dengan baik), pH dan suhu (Asmadi and Suharno, 2012).

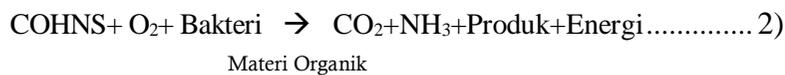
D. Mekanisme Proses Pengolahan Limbah Secara Aerob

Pengolahan limbah secara aerobik sangat memerlukan keberadaan oksigen terlarut guna untuk mendegradasi senyawa organik menjadi senyawa yang tidak mencemari perairan yang akan digunakan oleh mikroorganismenya dalam proses pendegradasian. Salah satu cara pengolahan limbah secara aerobik adalah dengan metode Lumpur Aktif. Reaksi yang terjadi pada proses aerob sebagai berikut:

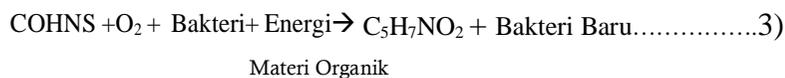


Adapun penguraian ini terjadi dalam tiga tahap, yaitu:

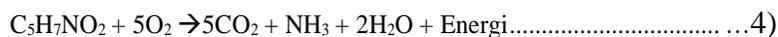
a. *Oksidasi:*



b. *Sintesis:*



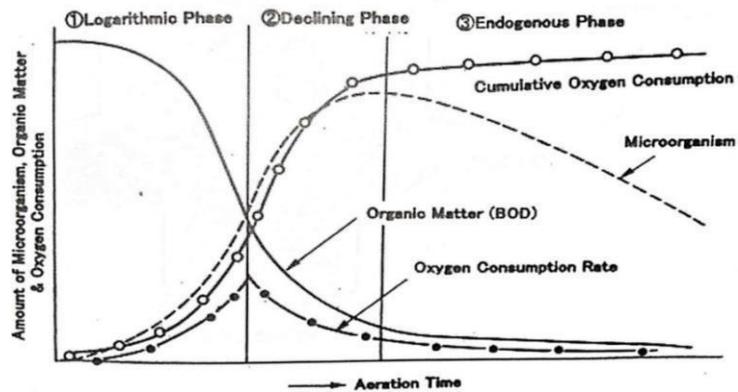
c. *Respirasi:*



E. Mekanisme Pertumbuhan Mikroorganismenya pada *Batch Reactor*

Jika mikroba dimasukkan dalam *batch reactor*, dan diberi tambahan bahan *organic biodegradable* dan aerasi. Maka mikroba tersebut akan tumbuh tahap demi tahap. Pada tahap awal, kondisi ini masih banyak bahan organik, mikroba akan cepat tumbuh

secara eksponensial (*logarithmic phase*). Jika organik dalam reactor mulai berkurang, pertumbuhan mikroba juga menjadi lambat dan mulai stabil (*declining phase*). Jika bahan organik semakin sedikit, mikroba mulai berkurang (*endogenous phase*). Proses lumpur aktif konvensional menggunakan mikroba dalam *Declining Phase*, apat dilihat pada **Gambar 2.1** Daur Hidup Mikroorganisme



Gambar 2.1 Daur hidup mikroorganisme

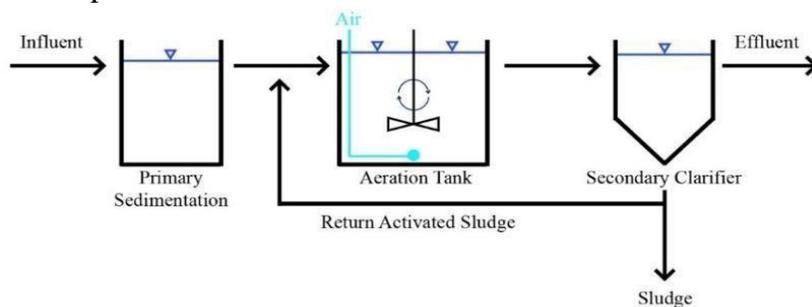
Sedangkan lumpur aktif yang modifikasi, yang memiliki SRT panjang seperti : *Extended Aeration*, *Oxidation Ditch*, memanfaatkan mikroba dalam *Endogeneous Phase*. Proses yang memanfaatkan mikroba endogeneous phase, menghasilkan *excess sludge* sedikit dan bisa dijalankan dalam kondisi stabil, tetapi butuh bak aerasi yang lebih besar dan luas.

F. Lumpur Aktif (*Activated Sludge*)

Lumpur aktif (*activated sludge*) adalah proses pertumbuhan mikroba tersuspensi. Proses pendegradasian pada dasarnya merupakan pengo-lahan aerobik yang mengoksidasi material organik menjadi CO_2 , H_2O , NH_4 , dan sel biomasa baru. Proses ini menggunakan udara yang disalurkan melalui pompa blower (*diffused*), atau melalui aerasi mekanik. Sel mikroba membentuk flok yang akan mengendap di tangki penjernihan. Kemampuan bakteri dalam membentuk flok menentukan keberhasilan

pengolahan limbah secara biologi (Herlambang *et al.*, 1999)

Banyak modifikasi telah dilakukan terhadap sistem lumpur aktif, tetapi secara keseluruhan sistem pengolahan dengan lumpur aktif dapat dicirikan dengan tanda-tanda: menggunakan lumpur mikroorganisme yang dapat mengkonversi zat organik terlarut dalam air buangan menjadi biomassa baru, terjadi pengendapan sehingga keluaran hanya sedikit mengandung padatan mikroba, dapat mendaur ulang sebagian lumpur mikroorganisme dari tangki pengendap ke reactor aerasi. Pada reaktor alir yang teraduk baik, kadang-kadang mikroorganisme tidak perlu didaur ulang. Kinerja pengolahan dengan lumpur aktif tergantung pada waktu tinggal sel rata-rata di dalam reaktor. jenis mikroba yang biasanya terdapat dalam lumpur umumnya berupa *Pseudomonas*, *Zooglea*, *Achromobacter*, *Flavobacterium*, *Nocardia*, *Bdellovobrio*, *Mycobacterium*, *Nitrosomonas*, dan *Nitrobacter* (Ratnani, 2012). Adapun proses pengolahan air limbah dengan proses lumpur aktif dapat dilihat pada **Gambar 2.2** dibawah ini.



Gambar 2.2 Proses Lumpur Aktif (Metcalf & Eddy, 2003)

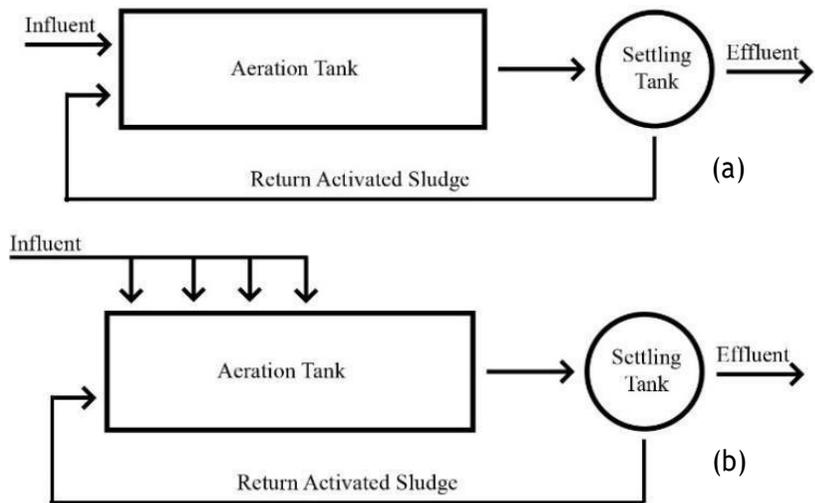
Surplus lumpur dari bak pengendap awal maupun akhir ditampung ke dalam bak pengering lumpur, sedangkan air resapannya ditampung kembali di bak penampung air limbah. Keunggulan proses lumpur aktif ini adalah dapat mengolah air limbah dengan beban BOD₅ yang besar, sehingga tidak memerlukan tempat yang besar. Proses ini cocok digunakan untuk mengolah air limbah dalam jumlah yang besar. Sedangkan beberapa kelemahannya antara lain yakni kemungkinan dapat terjadi bulking

pada lumpur aktifnya, terjadi buih, serta jumlah lumpur yang dihasilkan cukup besar (Asmadi and Suharno, 2012).

Berbagai jenis variasi proses lumpur aktif adalah :

(1) Step aeration

Pada model ini, influen dibagi menjadi beberapa aliran dan dimasukkan ke dalam tangki aerasi di posisi lain. Cara ini menyebabkan *Organic Loading* dan kebutuhan oksigen dalam bak aerasi merata. Selain itu dengan cara ini juga dapat mengontrol proses lebih fleksibel terhadap fluktuasi influen. Di bawah ini, pada **Gambar 2.3.** dijelaskan skema Lumpur Aktif Konvensional dan *Step Aeration*.

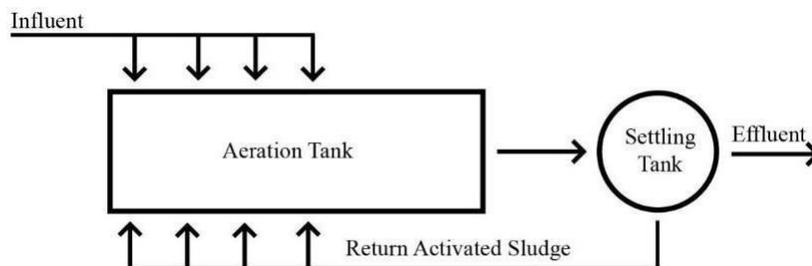


Gambar 2.3 Skema dari (a) lumpur aktif konvensional, dan (b) *Step aeration* (Metcalf & Eddy, 2003)

(2) Complete Mix Activated Sludge Process

Pada proses ini, tidak hanya influen, tetapi *return sludge* juga didistribusikan ke tangki aerasi dan diaduk sampai sempurna. Pada proses ini kondisi dalam tangki menjadi homogen dan sekaligus air limbah diencerkan, maka bisa menerima air limbah yang

konsentrasi organiknya relative tinggi dan juga tahan terhadap fluktuasi influen. Resiko proses tersebut adalah air limbah ada kemungkinan *short pass* sebelum diolah dengan baik. Pada **Gambar 2.4**. Dijelaskan skema *Complete Mix Activated Sludge Process*

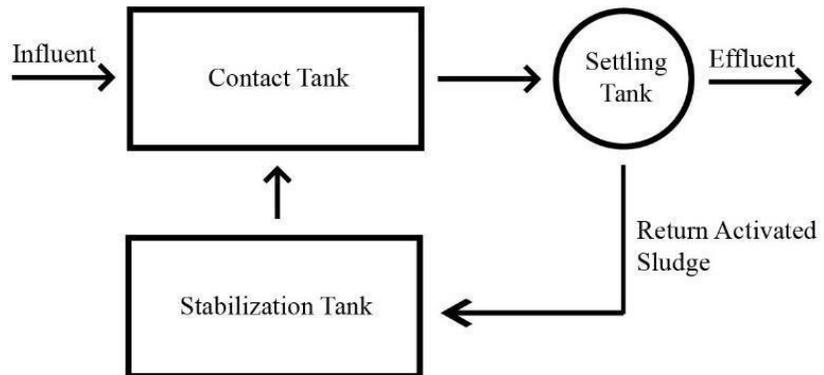


Gambar 2.4 *Complete Mix Activated Sludge Process* (Metcalf & Eddy, 2003)

(3) Contact Stabilization

Pada proses lumpur aktif, penguraian dan penghilangan zat organik limbah terjadi dalam dua tahap, yaitu: adsorpsi dan penguraian.

Kedua proses tersebut di atas, terjadi dalam tangka yang sama. Pada proses *Contact Stabilization* ini, di tangki aerasi terjadi proses adsorpsi dan ‘jebakan’ komponen BOD₅ baik yang tersuspensi maupun yang terlarut. Lumpur aktif yang sudah mengadsorpsi BOD₅ setelah mengendap di tangka sedimentasi, dikembalikan Kembali ke stabilisation pond. Organik yang sudah diadsorpsi tersebut, kan teruarai dengan diaerasikan lagi. Keistimewaan proses ini adalah bisa menghemat tempat IPAL. Kelemahan proses ini, adalah pengoperasiannya yang agak rumit. Pada **Gambar 2.5**. Dijelaskan skema *Contact Stabilization*. Stabilization tank diletakkan untuk menerima *return activated sludge* dari bangunan pengendap



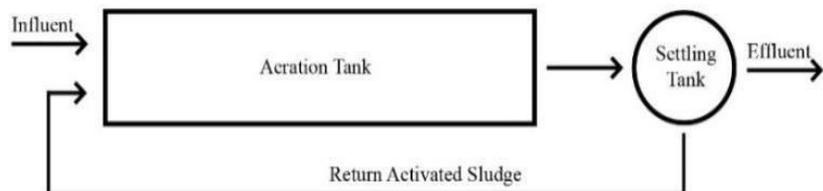
Gambar 2.5 *Contact Stabilization* (Metcalf & Eddy, 2003)

4) Extended Aeration

Proses lumpur aktif biasanya menghasilkan *excess sludge* yang cukup banyak. *Excess sludge* tersebut harus diolah terlebih dahulu sebelum dibuang, hal ini akan meningkatkan biaya pengoperasian.

Pada umumnya proses *Extended Aeration*, tangka aerasinya 3-5 kali lebih besar, maka BOD_5 loading rendah dan SRT Panjang. Pada kondisi ini mikroorganisme hidup di *endogeneous phase*, maka menghasilkan *excess sludge* yang sedikit.

Sehingga dengan proses ini, bisa menghemat biaya pengolahan *excess sludge*. Kelemahan proses ini adalah membutuhkan tangka aerasi yang besar dan lahan yang luas, maka bisa dipakai IPAL (Instalasi Pengolahan Air Limbah) skala kecil. Kelemahan lain, yaitu kadang-kadang pH dalam tangka aerasi menurun karena dihasilkan nitri dan nitrat.

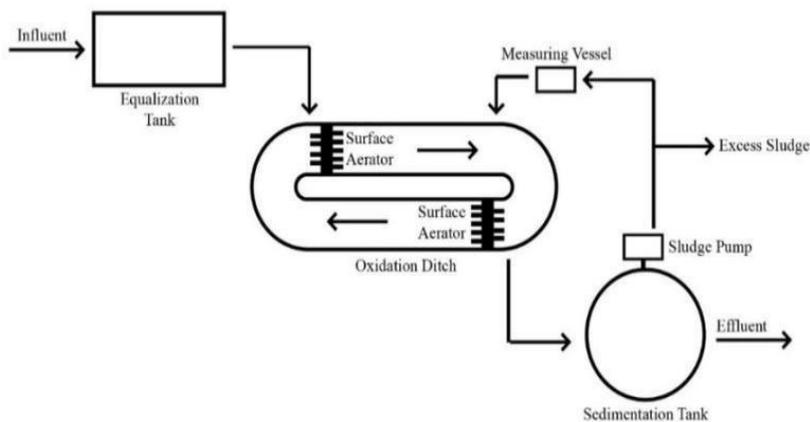


Gambar 2.6 *Extended Aeration* (Metcalf & Eddy, 2003)

5) Oxidation Ditch

Oxidation Ditch adalah salah satu proses lumpur aktif, akan tetapi bentuk tangka aerasinya oval, seperti pada Gambar 2.7 kemudian air limbah dan lumpur aktif berputar dalam tangka tersebut, dibantu surface aerator atau lainnya. Kedalaman *Oxidation Ditch* 1-3 m dan lebar (satu jalurnya): 2-6 m. *Oxidation Ditch* cara kerjanya seperti extended aeration process. Yang juga dioperasikan dengan BOD_5 loading yang rendah, sehingga menghasilkan *excess sludge* yang lebih sedikit dibandingkan lumpur aktif yang konvensional. Proses ini bisa dioperasikan dalam kondisi stabil dan bertahan pada fluktuasi loading dan fluktuasi temperature.

Konsentrasi DO (Oksigen Terlarut) tergantung pada daerah didalam Ditch dan bisa berubah-ubah. Daerah yang dekat aerator, DO nya tinggi, akan tetapi daerah yang jauh dari aerator, DO nya rendah. Pada kondisi tersebut tidak hanya terjadi reaksi aerobik, tetapi juga reaksi anaerobic, sehingga dapat mengurangi nitrogen. Kelemahan reactor ini adalah membutuhkan tempat yang luas.



Gambar 2.7 *Oxidation Ditch*

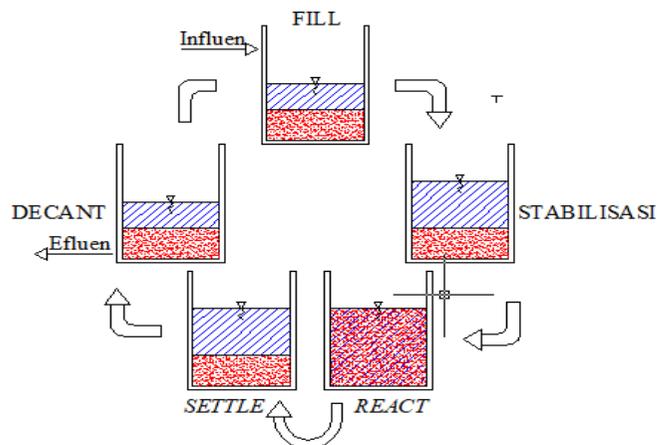
Pada **Gambar 2.7.** dijelaskan skema *Oxidation Ditch*. *Oxidation Ditch* dilengkapi dengan surface aerator yang jumlahnya, menyesuaikan dengan volume bak, sesuai perhitungan kebutuhan oksigen

6) Sequencing Batch Reactor

Sequencing Batch Reactor adalah proses lumpur aktif yang unik. Keunikan SBR terletak pada cara pengoperasiannya yang *batchwise*, yaitu satu reactor berfungsi sebagai bak aerasi dan tangkai sedimentasi, maka *sludge* tidak perlu dikembalikan.

G. *Sequencing Batch Reactor (SBR)*

Sistem SBR adalah suatu sistem lumpur aktif yang diope-
rasikan secara *batch*. Satuan proses dalam sistem SBR identik
dengan satuan proses dalam sistem lumpur aktif, yaitu aerasi dan
sedimentasi untuk memisahkan biomassa. Pada sistem lumpur
aktif, kedua proses tersebut berlangsung dalam dua tangki yang
berbeda, sedangkan pada SBR berlangsung secara bergantian pada
tangki yang sama. Keunikan lain dari sistem SBR adalah bahwa
tidak diperlukan resirkulasi *sludge* (Asmadi and Suharno, 2012).
Adapun skema proses dari SBR dapat dilihat pada **Gambar 2.8**
dibawah ini.



Gambar 2.8 Skema Proses SBR

SBR suatu proses pengolahan yang bersifat siklus dan tiap siklus terdiri atas fase pengisian (*fill*), reaksi (*react*), pengendapan (*settle*), pengurasan (*draw*), dan fase stabilisasi (*idle*). Semua tahapan proses tersebut berlangsung dalam suatu reaktor sehingga

memudahkan pengelolaannya. Sistem operasional SBR secara detail adalah sebagai berikut:

1. Fase pengisian (*fill*) Pada fase ini air buangan dimasukkan ke dalam reaktor sampai mencapai volum tertentu.
2. Fase reaksi (*react*) Pada fase ini aliran air buangan dihentikan. Proses reaksi biologi yang sudah mulai berlangsung saat proses fill akan berlangsung sempurna pada periode ini sampai proses biodegradasi BOD dan nitrogen tercapai.
3. Fase pengendapan (*settle*) Selama fase settle, SBR berfungsi sebagai clarifier. Pada fase ini aerasi dihentikan untuk memberikan kesempatan pada biomassa untuk mengendap sehingga menghasilkan cairan supernatan yang terpisah dari lumpur. Pengendapan dapat berlangsung lebih sempurna karena kondisinya diam. Selama periode pengendapan tidak didapati adanya influen ataupun efluen pada reaktor untuk mencegah terjadinya turbulensi aliran.
4. Fase pengurasan (*decant*) Tujuan dari tahap ini adalah untuk mengeluarkan supernatan dari reaktor. Hal ini bisa dilakukan dengan pipa atau wire.. Pada fase ini effluentdikeluarkan.
5. Fase *idle* Merupakan fase diam menunggu pengisian kembali. Fase idle tidak mutlak diperlukan,meskipun demikian idle kadang perlu untuk menstabilkan lumpur biomassa sebagaimana yang terjadi dalam proses kontak stabilisasi.

Penentuan lamanya proses dalam siklus SBR tergantung dari kualitas air limbah yang masuk serta kondisi kecepatan pengendapan lumpur dalam tangki SBR. Adapun skema proses dari SBR dapat dilihat pada **Tabel 2.2**

Tabel 2.2 Skema Proses SBR (Said, 2017)

Jenis Proses	Lama Waktu
Pengisian (<i>Filling</i>)	25-30 menit
Pengadukan (<i>Mixing</i>)	25-30 menit
Aerasi (<i>Aeration</i>)	1,5-3 jam
Pengendapan (<i>Sedimentation</i>)	1,5-2 jam
Pembuangan Air Olahan (<i>Decantation</i>)	1,5-2 jam
Pembuangan Lumpur (<i>Iddle</i>)	30 menit

Adapun faktor-faktor yang harus diperhatikan pada SBR untuk menciptakan performa kerja yang baik sebagai berikut (Metcalf & Eddy, 2014) :

1. Pembuangan lumpur

Pembuangan merupakan salah satu tahap yang penting dalam pengoperasian SBR. Pembuangan lumpur ini dibutuhkan untuk mengontrol SRT (*Sludge Retention Time*) dan meningkatkan performa kerja SBR.

2. Proses kinetik

Proses kinetik diduplikasikan pada tahap reaksi. Dimana bertujuan agar mengetahui apakah waktu aerasi pada tahap reaksi telah memenuhi untuk mendegradasi senyawa polutan pada air limbah.

3. Kondisi Pengoperasian

Terdapat dua kunci dari kondisi pengoperasian yaitu, sebagian isi tangki dihilangkan pada saat tahap pengeluaran dan volume air limbah yang masuk saat dilakukan tahap pengisian sama dengan volume air limbah yang dikeluarkan saat tahap pengeluaran.

H. Parameter Proses Lumpur Aktif *Sequencing Batch Reactor*

Proses lumpur aktif terdiri dari tiga faktor, yaitu

- (1). Bak aerasi, didalamnya terjadi proses penambahan oksigen dari aerator, yang bertujuan agar mikroorganisme tersuspensi dan memberikan habitat yang nyaman untuk mikroorganisme agar lahap memakan zat pencemar didalam limbah. Mikroorganisme inilah yang melakukan penguraian dan menghilangkan kandungan organik dari limbah secara aerobik. Oksigen yang dibutuhkan oleh mikroorganisme tersebut, diberikandengan cara memasukkan udara kedalam tangka aerasi dengan *blower, diffuser*. Aerasi ini berfungsi mencampur limbah cair dengan lumpur aktif, sehingga terjadi kontak yang intensif.

- (2) Pemisahan antara padatan mikroba (sebagai lumpur aktif) dan air yang sudah diolah.
- (3) Pengembalian lumpur aktif ke dalam bakeraerasi

Setelah dari bak aerasi, campuran air limbah yang sudah diolah dan lumpur aktif dimasukkan ke tangki sedimentasi, agar lumpur dapat diendapkan, sedangkan *supernatant* (air yang sudah terpisah dari lumpur aktif) dikeluarkan sebagai efluen dari proses. Sebagian besar lumpur aktif yang diendapkan di tangka sedimentasi tersebut dikembalikan ke tangka aerasi aerasi sebagai *return sludge* supaya konsentrasi mikroorganisme dalam tangka aerasinya tetap sama dan sisanya dikeluarkan sebagai *excess sludge*.

Adapun beberapa parameter yang digunakan didalam desain system pengolahan lumpur aktif adalah (Tanaka, 2008):

(1) Organic Loading

Organic loading adalah parameter utama untuk mendesain dan mengoperasikan proses lumpur aktif. Ada dua jenis parameter untuk *organic loading*, yaitu : F/M (*Food to Microorganism ratio*) dan *Volumetric BOD loading*. Parameter tersebut dihitung dengan rumus

$$- \quad \frac{F}{M} = \frac{(L_f \times Q_i)}{(V \times S)} = [\text{kg BOD/kg MLSS.hari}] \dots\dots\dots 5)$$

$$\text{Volumetris BOD Load} = (L_f \times Q_i)/V = \text{kg BOD/m}^3 \cdot \text{hari} \dots\dots 6)$$

Keterangan :

L_f = BOD₅ influen (kg/m³)

Q_i = Debit influen (m³/hari)

V = Volume tangki aerasi (m³)

S = MLSS (*Mixed Liquor Suspended Solid*) (kg/m³)

- o MLSS artinya: berapa kg padatan tersuspensi berada di setiap m³ air campuran dalam tangka aerasi atau nilai ini mendekati berapa kg mikroba dalam air campuran (lumpur aktif).

MLSS x Volume tangki aerasi = kg total lumpur aktif pada bak aerasi..... 7)

- Jika nilai BOD₅ influen dikalikan dengan debit influen (L_f x Q_i), artinya berapa kg BOD₅ akan masuk ke bak aerasi setiap hari. Jika BOD₅ yang masuk dibagi dengan jumlah lumpur aktif dalam bak aerasi, akan diketahui kg BOD₅ yang akan dibebankan untuk setiap kg lumpur aktif per hari, yaitu F/M.
- Sehingga dapat dikatakan, jika F/M rendah maka BOD removalnya tinggi. Begitu juga sebaliknya. Sehingga hubungan F/M dengan BOD efluen pada air limbah, jika F/M rendah....BOD₅ removal tinggi...maka BOD₅ efluen juga rendah. (Tanaka, 2008)

(2) HRT (*Hydraulic Retention Time*)

Hydraulic Retention Time didefinisikan, rata-rata berapa lama air limbah yang dimasukkan ke dalam tangka aerasi berada dalam tangki tersebut.

$$HRT = 24V/Q_i \dots\dots\dots 8)$$

Keterangan : HRT : *Hydraulic Retention Time* (jam)

V : Volume tangka aerasi (m³)

Q_i : Debit influen (m³/hari)

Contoh soal :

Apabila BOD₅ influen, BOD₅ loading dan MLSS sudah diketahui, maka dengan sendirinya HRT juga diketahui. Misalnya debit influen 100 m³/hari, BOD₅ influen 200 mg/L dan BOD₅ loading 0.3 kg BOD₅/kg MLSS/hari dan MLSS 3000 mg/L. Makamikroba yang dibutuhkan dalam tangki aerasi (W_a) adalah :

$$\begin{aligned} W_a &= (\text{BOD influen} \times \text{Debit influen} / \text{MLSS}) \\ &= (0.2 \times 100 / 0.3) \\ &= 66.7 \text{ kg} \end{aligned}$$

Maka volume tangki aerasi (V, m³) yang dibutuhkan adalah :

$$\begin{aligned} V &= W_a / \text{MLSS} \\ &= \frac{66.7 \text{ kg}}{3 \text{ kg/L}} = 22.2 \text{ m}^3 \end{aligned}$$

Maka HRT menjadi:

$$\begin{aligned} \text{HRT} &= 24 \times 22.2 / 100 \\ &= 5.3 \text{ jam} \end{aligned}$$

(3) SRT (Solids Retention Time)

SRT menunjukkan rata-rata berapa lama lumpur aktif tinggal dalam system. SRT dapat dihitung sebagai berikut :

$$\text{SRT} = \frac{(S_a + S_x)}{(S_s + S_e)} \dots\dots\dots 9)$$

Keterangan :

- SRT = *Solid Retention Time* (hari)
- S_a = Kwantitas lumpur aktif didalam tangki aerasi(kg)
- S_x = Kwantitas lumpur aktif didalam tangki sedimentasi, pipa dan lain-lain (kg)
- S_s = Kwantitas *excess sludge* (kg/hari)
- S_e = Kwantitas SS effluent (kg/hari)

SRT sangat berkaitan dengan kondisi mikroba dalam bak aerasi.

(4) Recycling Ratio

Recycling ratio adalah perbandingan antara debit aliran yang dikembalikan dari tangki sedimentasi ke tangka aerasi dengan debit influen. Kestabilan MLSS berdasarkan control *recycling ratio* dengan baik.

Perhitungan *recycling ratio* adalah:

$$S (Q_i + Q_r) = R (Q_i + Q_e) = R \times Q_r \dots\dots\dots 10a)$$

$$\text{Recycling Ratio} = \frac{Q_r}{Q_i} = \frac{S}{(R-S)} \dots\dots\dots 10b)$$

Keterangan :

- S = MLSS (kg/m³)
- R = TSS dari *return sludge* (kg/m³)
- Q_i = debit influen (m³/hari)
- Q_r = debit *return sludge* (m³/hari)
- Q_e = debit *excess sludge* (m³/hari)

Recycle ratio yang umumnya digunakan adalah 0.2-0.3 (20%-30%)

(5) SVI (Sludge Volume Index)

SVI adalah indikator untuk mengecek sifat endapan lumpur aktif. Cara menentukan SVI adalah memasukkan limbah yang tercampur lumpur aktif ke dalam wadah bentuk tabung (volume 1 liter) dan didiamkan selama 30 menit. Kemudian diukur volume *sludgenya*. Secara terpisah, diukur MLSS dari limbah yang tercampur lumpur aktif tersebut.

SVI dihitung menggunakan rumus dibawah ini.

$$SVI = \frac{Sv}{S} \dots\dots\dots 11)$$

Keterangan :

SVI = *Sludge Volume Index* (mL/g)

Sv = *Sludge Volume* sesudah endapan 30 menit (mL/L)

S = MLSS (g/L)

SVI pada kisaran antara 50-150 untuk proses lumpur aktif yang dioperasikan dengan baik. Jika SVI mencapai angka diatas 200, ada kemungkinan terjadi '*bulking*'. *Bulking* adalah peristiwa dimana mikroba lumpr aktif tidak mau mengendap sebagaimana semestinya di tangki sedimentasi. Sebagian mikroba ikut keluar dengan efluen dan proses tidak berfungsi secara normal. Faktor penyebab *bulking* adalah *organic loading* yang kurang cocok, kekurangan nutrient, kekurangan oksigen, temperature yang kurang cocok, dan lain-lain.

(6) Kebutuhan Oksigen

Oksigen yang dibutuhkan untuk reaksi aerob dalam tangka aerasi dapat dihitung, sebagai berikut:

$$O_r = a \times L_r + b \times L_a \dots\dots\dots 12)$$

Keterangan :

O_r = oksigen yang dibutuhkan (kg/hari)

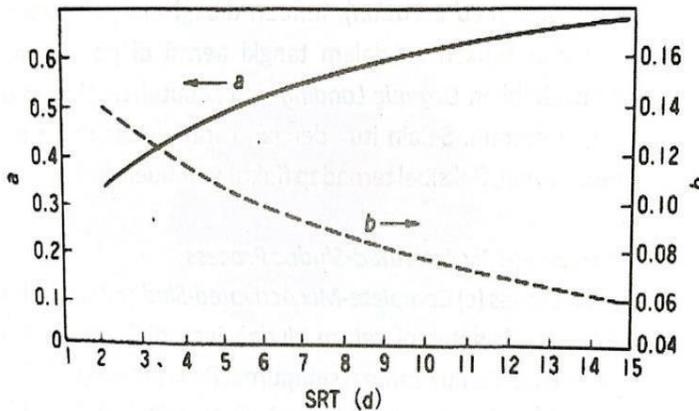
L_r = BOD₅ yang dihilangkan (kg/hari)

L_a = kwantitas lumpur aktif dalam tangki aerasi (kg)

a = koefisien, pada kisaran 0.31-0.77

b = koefisien pada kisaran 0.05-0.18

Koefisien a dan b, dipengaruhi oleh SRT (Horasawa 1980, dalam Tanaka 2008)



Gambar 2.9. Hubungan antara SRT dengan koefisien a dan b (Horasawa 1980)

(7) pH

pH yang optimal untuk reaksi lumpur aktif adalah 6-8

(8) Nutrient Balance

Pada umumnya perbandingan antara BOD₅, nitrogen dan fosfat yang optimal untuk proses lumpur aktif adalah :

$$\text{BOD} : \text{N} : \text{P} = 100 : 5 : 1$$

Nutrient balance yang kurang baik, bisa diperbaiki dengan cara menambah bahan kimia yang mengandung nitrogen, atau fosfat. Contoh bahan kimia tersebut, misalnya urea untuk menambah nitrogen, *phosphoric acid* dan *diammonium phosphate* untuk menambah phosphate

I. Modifikasi Dalam Sequencing Batch Reactor

Pada sub bab ini, dijelaskan modifikasi pada *Sequencing Batch Reactor* menggunakan dua metoda. Modifikasi yang dilakukan adalah, penambahan media penahan biofilm dan penambahan adsorben PAC

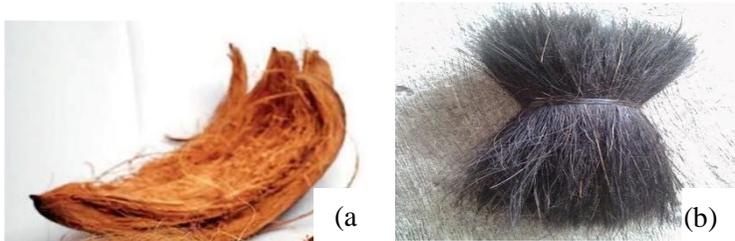
1.1. Sequencing Batch Biofilm Reactor

Biofilm adalah kumpulan sel mikroorganisme, khususnya bakteri, yang melekat di suatu permukaan dan diselimuti oleh pelekat karbohidrat yang dikeluarkan oleh bakteri. Proses pengolahan air limbah dengan proses biofilm atau biofilter tercelup dilakukan dengan cara mengalirkan air limbah ke dalam reaktor biologis yang didalamnya diisi dengan media penyangga untuk pengembangbiakan mikroorganisme dengan atau tanpa aerasi. Untuk proses anaerobik dilakukan tanpa pemberian udara atau oksigen. Posisi media biofilter tercelup di bawah permukaan air (Ariani *et al.*, 2014). Petumbuhan mikroorganisme semakin lama akan semakin menebal, sehingga akan terjadi pengelupasan biofilm pada media disk dan akan menjadi padatan tersuspensi. Saat terjadi pengelupasan maka mikroorganisme akan mulai tumbuh lagi dengan sendirinya hingga terjadi keseimbangan senyawa organik yang ada dalam air limbah (Said, 2011)

Berbagai pengembangan proses pengolahan air limbah telah dilakukan untuk mendapatkan hasil pengolahan yang optimum baik secara fisik, kimia maupun biologi (Adeline dkk, 2015). Pengolahan dengan menggunakan SBR juga ditingkatkan untuk removal nitrit yang dapat dicapai apabila DO dalam SBR dalam kondisi yang terbatas, hal ini dapat terjadi dengan dilakukannya penambahan media penahan biofilm secara fixed. Penambahan biofilm secara fixed dapat memposisikan kandungan oksigen atau DO dalam reaktor menjadi terbatas dan cukup efektif untuk mengolah Air limbah domestik.

Pada penelitian ini, media penahan biofilm dipilih serabut kelapa dan ijuk. Alasan pemilihan kedua jenis media tersebut, karena memiliki serabut-serabut yang merupakan habitat terbaik, untuk tumbuhnya biofilm. Selain itu, sistem operasional, dikatakan optimal, jika media penahan tersuspensi, sedikit endapan yang terbentuk, maupun media penahan yang melayang pada saat proses

aerasi berlangsung, sehingga operasional *moving bed* media serabut kelapa dalam SBR untuk mengolah air limbah domestik dapat beroperasi lebih baik. Di bawah ini, dijelaskan pada **Gambar 2.3.** visualisasi kedua media penahan biofilm.



Gambar 2.10. Visualisasi (a) Serabut Kelapa; (b) ijuk

Kelapa (*Cocos nucifera*) adalah salah satu tanaman palem yang paling dikenal dan didistribusikan secara luas di daerah tropis. Pohon kelapa adalah jenis tanaman rumah tunggal dengan batang tanaman tumbuh lurus ke atas dan tidak bercabang. Serat kelapa sawit yang dihasilkan oleh pohon kelapa sawit memiliki sifat fisik antara lain: dalam bentuk untaian benang (serat) hitam, berdiameter kurang dari 0,5 mm, kaku dan ulet (tidak mudah putus). Perbedaan terpenting dari serabut kelapa dan ijuk adalah pada diameter ketebalan masing-masing helai. Ijuk memiliki serat lebih tebal dari serabut kelapa

I.2. Adsorben dari Karbon Aktif

Karbon aktif merupakan zat pengadsorpsi atau adsorben. Di dalam proses pengolahan air, umumnya adsorben digunakan untuk menghilangkan senyawa polutan yang tidak dapat dihilangkan dengan pengolahan pendahuluan. Pada umumnya polutan yang tidak dapat dihilangkan berupa bau, detergen, zat-zat organik, ammonia dan zat warna organik (Said, 2017).

Bahan adsorben yang sering digunakan adalah karbon aktif, silika aktif, zeolit dan lainnya. Karbon aktif biasanya dibuat dari bahan baku yang mengandung karbon (C) seperti batok kelapa, limbah kayu, arang, batu bara, atau senyawa karbon lainnya (Said,

2017). Selain itu terdapat pula karbon aktif yang dapat dibuat sendiri secara alami misalnya dari abu sekam, arang batang pisang, kulit salak dan adsorben alami lainnya.

Terdapat dua tipe karbon aktif yang biasanya digunakan pada pengolahan air limbah yaitu karbon aktif bubuk atau *Powdered Activated Carbon* (PAC) dan karbon aktif butiran atau *Granular Activated Carbon* (GAC). PAC digunakan jika pengolahan dalam keadaan darurat atau dalam waktu yang singkat. GAC digunakan saat pengolahan dalam jangka waktu yang lama (Said, 2017). Berikut bentuk karbon aktif tipe serbuk atau bubuk dan tipe butiran pada **Gambar 2.11**.



Gambar 2.11 *Powdered Activated Carbon* (PAC) dan *Granular Activated Carbon* (GAC)

Karbon aktif umumnya dibuat dengan bahan baku mengandung karbon (C) contohnya, batok kelapa, limbah kayu, arang, batu bara atau senyawa karbon lainnya. Dengan cara dipanaskan pada suhu tinggi tanpa oksigen serta diaktifkan dengan proses tertentu sehingga akan memiliki sifat adsorpsi yang lebih spesifik (Said, 2017).

2.1. Karbon Aktif Bubuk (PAC)

Karbon aktif bubuk sangat halus dan ukuran partikel sekitar 50-75 mikron. Karena sangat halus biasanya dicampur dengan kandungan air sekitar 30-50%. Berikut spesifikasi karbon aktif bubuk untuk pengolahan air dapat dilihat pada **Tabel 2.3** (Said, 2017).

Tabel 2.3 Standar Pemilihan Karbon Aktif Bubuk untuk Pengolahan Air

Item	Standar Pemilihan	Spesifikasi
Ukuran butiran	Surplus kurang 10% setelah <i>screening</i> 74 mikron	100 mesh
Methylene blue decoloration	-	> 150 mg/L
Iodine Adsorption	-	> 1.000 mg/g
Dry Weight reduction	20-50%	< 45-540%
pH	4-11	4-11
Klorida	< 0,5%	< 0,5%
<i>Lead</i> (Pb)	< 10 ppm	< 10 ppm
Seng (Zn)	< 50 ppm	< 50 ppm
Kadmium (Cd)	< 1 ppm	< 1 ppm
<i>Arsenic</i> (As)	< 2 ppm	< 2 ppm
Konduktivitas	< 900 $\mu\Omega/cm$	-

2.2. Karbon Aktif Butiran (GAC)

GAC merupakan karbon aktif berbentuk butiran dengan ukuran partikel 0,16-1,5 mm. Dibandingkan dengan PAC aplikasi maupun pengangkutannya lebih mudah. Berikut spesifikasi karbon aktif butiran untuk pengolahan air dapat dilihat pada **Tabel 2.4** (Said, 2017).

Tabel 2.4 Spesifikasi Karbon Aktif Butiran

Item	Standar Pemilihan
Ukuran butiran	8-32 mesh (2,302-0,495 mm) > 95%
Methylene blue decoloration	> 150 mg/g
Iodine Adsorption	> 1.000 mg/g
Dry Weight reduction	< 5%
pH	4-11
Klorida	< 0,5%
<i>Lead</i> (Pb)	< 10 ppm
Seng (Zn)	< 50 ppm
Kadmium (Cd)	< 1 ppm
<i>Arsenic</i> (As)	< 2 ppm

Terdapat pula syarat mutu karbon aktif tipe serbuk maupun butiran, menurut Standar Nasional Indonesia (SNI) dapat dilihat pada **Tabel 2.5**.

Tabel 2.5 Syarat Karbon Aktif, Berdasar SNI 06-3730-1995

No	Uraian	Satuan	Persyaratan	
			Butiran	Serbuk
1	Bagian yang hilang pada pemanasan 950°C	%	Max 15	Max 25
2	Kadar air	%	Max 4,5	Max 15
3	Kadar abu	%	Max 2,5	Max 10
4	Daya serap terhadap larutan Iodin	mg/g	Min 750	Min 750
5	Karbon aktif murni	%	Min 80	Min 65

2.3. Prinsip Dasar Adsorpsi dengan Karbon Aktif

Karena adanya gaya tarik-menarik antara molekul karbon aktif dengan molekul adsorben dalam air (gaya Van der Waals) maka pengolahan air yang menggunakan karbon aktif merupakan proses adsorpsi secara fisika. Karbon aktif memiliki daya serap untuk menyerap polutan yang ada pada air limbah sehingga zat tersebut akan menempel pada permukaan karbon aktif, sehingga polutan yang ada dalam air limbah berkurang maupun hilang (Said, 2017). Pada adsorpsi, interaksi antara adsorben dengan adsorbat hanya terjadi pada permukaan adsorben. Adsorpsi adalah gejala pada permukaan, sehingga makin besar luas permukaan, maka makin banyak zat yang teradsorpsi. Adsorpsi bergantung pada sifat zat pengadsorpsi. Zat pencemar BOD₅ dan fosfat, mengandung rantai C (carbon) dan H (hydrogen) yang memiliki sifat mudah teradsorb karena proses fisika dan kimia.

Proses adsorpsi terjadi melalui tiga tahap, yaitu:

1. *Macro transport*: pergerakan material organik melalui sistem *macropore* adsorben.

2. *Micro transport*: pergerakan material organik melalui sistem mesopore dan *micropore* dari adsorben.
3. Sorption, yaitu melekatnya material organik pada permukaan adsorben, yaitu di permukaan *macropore*, *mesopore* dan *micropore*.

Mekanisme adsorpsi *Moringa oleifera* terhadap BOD dan phosphate adalah adsorpsi fisika dilanjutkan adsorpsi kimia. Adsorpsi fisika merupakan adsorpsi yang terjadi karena adanya gaya *Van Der Waals*. yaitu gaya tarik-menarik antara adsorbat di fluida dengan molekul pada permukaan adsorben (intermolekular). Proses tersebut terjadi pada pori pori yang dimiliki oleh adsorben atau pada letak –letak tertentu pada adsorben.

Setelah itu dilanjutkan mekanisme adsorpsi kimia, hal ini terjadi karena adanya ikatan kimia yang terbentuk antara molekul adsorbat dengan permukaan adsorben. Ikatan kimia dapat berupa ikatan kovalen atau ion. Ikatan yang terbentuk sangat kuat sehingga spesi aslinya tidak dapat ditemukan. Karena kuatnya ikatan kimia yang terbentuk, maka adsorbat tidak mudah terdesorpsi. Pada adsorpsi kimia, adsorbat melekat pada permukaan dengan membentuk ikatan yang biasanya merupakan ikatan kovalen (Hendrasarie & Maria, 2020).

J. Data Penelitian

Sudah dijelaskan dalam bab 1, bahwa pembahasan dalam buku monograph ini, tentang pengolahan limbah untuk lahan sempit. Dalam buku seri 1, kita membahas tentang Sequencing Batch Reactor yang dimodifikasi dengan tambahan adsorben dan biofilm. Kedua modifikasi ini sama-sama efektif, tetapi masing-masing tetap memiliki kelebihan dan kekurangan. Didalam buku ini dibahas tuntas, tentang kelebihan dan kekurangannya. Kami jabarkan data dalam bab ini, dengan catatan bahwa data ini berasal dari penelitian penulis bersama tim peneliti.

Data yang dijelaskan, kami bagi menjadi dua kelompok. Kelompok pertama, data SBR dengan penambahan biofilm dan kelompok kedua data SBR dengan penambahan adsorben. Berikut data yang kami hasilkan dari penelitian ini.

1. Data SBR Dengan Penambahan Biofilm

Data yang ditampilkan meliputi penyisihan pada limbah domestik di apartemen, dengan zat pencemar organik meliputi, *Chemical Oxygen Demand* (COD), *Total Nitrogen*, *Total Suspended Solid* (TSS). Dan yang ditinjau selama penelitian adalah : *Dissolved Oxygen* (DO), pH dan suhu limbah.

Tabel 2.6. Data COD Pada Media Biofilm

HRT	Influent	Palm Fiber 25 gr	Palm Fiber 35 gr	Palm Fiber 45 gr	Without Media
23	28	28	31	30	28
25	30	31	30	31	29
27	29	30	31	28	31

Tabel 2.11. Data DO - Coconut Fiber Pada Media Biofilm

Reactor	DO (mg/L)		
	HRT 23 Hour	HRT 25 Hour	HRT 27 Hour
<i>Fill</i>	3.80	3.55	3.90
<i>Anaerob</i>	3.15	3.10	2.95
<i>Aerob</i>	6.25	5.90	6.15
<i>Settle</i>	5.90	5.70	6.00

Tabel 2.12. Data DO - Palm Fiber Pada Media Biofilm

Reactor	DO (mg/L)		
	HRT 23 Hour	HRT 25 Hour	HRT 27 Hour
<i>Fill</i>	3.55	3.45	3.35
<i>Anaerob</i>	2.90	3.10	2.95
<i>Aerob</i>	6.35	6.15	6.10
<i>Settle</i>	5.85	6.05	5.85

2. Data SBR Dengan Penambahan Adsorben

Data yang ditampilkan meliputi penyisihan pada limbah domestik di apartemen, dengan zat pencemar organik dan yang ditinjau selama penelitian adalah : *Dissolved Oxygen* (DO), pH dan suhu limbah. Reaktor yang digunakan dua macam, yaitu R1 menggunakan laju aerasi 3.5 L/menit (R1) dan 7 L/menit (R2).

Tabel 2.13. Data COD Penambahan Adsorben

R1			
<i>Hdraulic Retention Time</i>	<i>Influent COD Concentration (mg/L)</i>	<i>Effluent COD Concentration (mg/L)</i>	<i>Removal of COD (%)</i>
12	83.81	31.79	62.34
24	99.72	39.02	70.58
36	73.71	21.68	55.53
48	143.27	31.80	75.50
60	164.60	47.70	88.94
72	108.40	17.34	75.99
84	136.70	12.73	87.96
96	146.20	17.34	90.00
108	122.80	12.28	86.18

R2			
<i>Hidraulic Retention Time</i>	<i>Influent COD Concentration (mg/L)</i>	<i>Effluent COD Concentration (mg/L)</i>	<i>Removal of COD</i>
12	83.81	21.67	73.39
24	99.72	30.35	82.61
36	73.71	17.34	61.08
48	143.27	26.01	81.07
60	164.60	39.02	92.10
72	108.40	13.00	75.11
84	136.70	14.36	89.50
96	146.20	17.34	90.78
108	122.80	12.28	87.71

Tabel 2.14. Data TSS Penambahan Adsorben

R1			
<i>Hidraulic Retention Time</i>	<i>Influent TSS Concentration (mg/L)</i>	<i>Effluent TSS Concentration (mg/L)</i>	<i>Removal of TSS (%)</i>
12	70.00	26.67	61.13
24	90.00	15.00	72.72
36	55.00	40.00	38.46
48	78.33	46.67	40.14
60	85.00	65.00	58.82
72	70.00	35.00	18.75
84	65.00	22.33	61.41
96	90.00	27.00	83.33
108	50.00	15.00	50.00

R2			
<i>Hidraulic Retention Time</i>	<i>Influent TSS Concentration (mg/L)</i>	<i>Effluent TSS Concentration (mg/L)</i>	<i>Removal of TSS (%)</i>
12	70.00	50.00	30.03
24	90.00	75.00	46.15
36	55.00	35.00	16.67
48	78.33	46.67	40.70
60	85.00	70.00	68.75
72	70.00	25.00	17.64
84	65.00	30.00	53.67
96	90.00	40.00	60.00
108	50.00	20.00	45.45

Tabel 2.15. Data Total Nitrogen Penambahan Adsorben

R1			
Hidraulic Retention Time	Influent N-Total Concentration (mg/L)	Effluent N-Total Concentration (mg/L)	Removal of N-Total (%)
12	95.43	13.96	85.14
24	110.10	15.55	88.23
36	83.32	12.95	83.25
48	78.31	10.39	86.73
60	88.79	9.91	88.84
72	60.91	4.14	93.20
84	49.15	5.36	88.86
96	54.89	5.84	91.54
108	42.86	4.64	86.37

R2			
<i>Hidraulic Retention Time</i>	<i>Influent N-Total Concentration (mg/L)</i>	<i>Effluent N-Total Concentration (mg/L)</i>	<i>Removal of N-Total (%)</i>
12	95.43	14.86	83.97
24	110.10	17.76	88.53
36	83.32	12.62	78.68
48	78.31	9.24	88.20
60	88.79	7.12	91.98
72	60.91	5.78	90.51
84	49.15	2.66	94.54
96	54.89	3.43	95.64
108	42.86	2.18	93.09

Tabel 2.16. Data DO Penambahan Adsorben

R1		
<i>Hidraulic Retention Time</i>	<i>Influent DO Concentration (mg/L)</i>	<i>Effluent DO Concentration (mg/L)</i>
12	3.3	4.4
24	3.4	4.4
36	3.1	4.3
48	3.5	4.6
60	3.6	4.7
72	3.5	4.6
84	3.7	4.9
96	3.8	4.9
108	3.5	4.8

R2		
<i>Hidraulic Retention Time</i>	<i>Influent DO Concentration (mg/L)</i>	<i>Effluent DO Concentration (mg/L)</i>
12	3.5	4.6
24	3.5	4.6
36	3.3	4.5
48	3.6	4.8
60	3.7	4.8
72	3.5	4.7
84	4.2	5
96	4.2	5.2
108	3.9	4.9

Tabel 2.17. Data pH Penambahan Adsorben

R1		
<i>Hidraulic Retention Time</i>	<i>Influent pH</i>	<i>Effluent pH</i>
12	6.73	7.27
24	7.00	7.40
36	6.50	7.20
48	6.70	7.17
60	7.00	7.50
72	6.20	7.00
84	6.57	7.30
96	6.80	7.40
108	6.40	7.20

R2		
<i>Hidraulic Retention Time</i>	<i>Influent pH</i>	<i>Effluent pH</i>
12	6.80	7.37
24	7.00	7.50
36	6.50	7.20
48	6.67	7.13
60	6.80	7.30
72	6.50	7.00
84	7.00	7.23
96	7.10	7.30
108	6.90	7.10

Tabel 2.18. Data Temperatur Penambahan Adsorben

R1		
Hidraulic Retention Time	Influent Temperature (°C)	Effluent Temperature (°C)
12	28.33	31.33
24	30	32
36	27	30
48	29.33	31
60	31	32
72	28	30
84	29.67	31.67
96	30	32
108	29	31

R2		
Hidraulic Retention Time	Influent Temperature (°C)	Effluent Temperature (°C)
12	28	30.33
24	30	32
36	27	29
48	29.33	31
60	30	32
72	29	30
84	29.33	30.67
96	30	32
108	29	30

BAB 3

PEMBAHASAN DAN PEMECAHAN MASALAH

A. *Seeding* dan Aklimatisasi

Proses *seeding* merupakan bagian dari tahapan persiapan *running*. Proses *seeding* di perlukan untuk menumbuhkan dan mengembang biakkan mikroba yang berasal dari lumpur aktif dan limbah domestic. Proses *seeding* dilakukan secara alami, selama 10 hari secara batch. Pergantian air limbah dilakukan secara berkala setiap 1 kali sehari selama proses *seeding*. Pada proses *seeding* di lakukan pemberian nutrient yang di butuhkan oleh mikroorganismenya sebagai bahan makanan agar mikroorganismenya cepat tumbuh dan melekat pada media ijuk dan sabut kelapa. Nutrient yang di perlukan mikroorganismenya berupa rasio C : N : P agar mikroorganismenya dapat tumbuh dan berkembang biak dengan maksimal. Perbandingan rasio C: N: P yang di berikan untuk mikroorganismenya sebesar 100:5:1 untuk aerob (Putri, 2013). Pemberian nutrient untuk mikroorganismenya menggunakan gula dan natrium diphospat. Berdasarkan perbandingan rasio C: N: P, maka pemberian gula sebesar 0,43 gram dan natrium diphospat sebesar 0,013 gram. Parameter utama dalam proses *seeding* pada penelitian ini adalah nilai MLSS, MLSS yang dipersyaratkan pada kisaran 2000 – 5000 mg/L. Kisaran nilai tersebut, merujuk dari Metcalf & Eddy, 2003 dan riwayat penelitian penulis sebelumnya (Hendrasarie *et al.*, 2021 dan Sekarani & Hendrasarie, 2020), MLSS di kisaran 2500 – 3000 mg/L, sudah sesuai untuk *running*. Penurunan nilai MLSS menunjukkan adanya mikroorganismenya yang tumbuh (Hendrasarie & Trilita, 2019). Analisis MLSS bertujuan untuk mengetahui

jumlah total dari padatan tersuspensi yang berupa material organik dan mineral, termasuk didalamnya mikroorganisme. Seeding rata-rata selama 10 hari, sudah mampu menunjukkan bahwa adanya penurunan dan perbedaan nilai MLSS di setiap reactor

Setelah melalui proses seeding, dimana mikroorganisme yang berkembang biak dan tumbuh telah mencukupi maka dapat dilanjutkan pada proses aklimatisasi. Proses aklimatisasi merupakan pengadaptasian mikroorganisme dengan air limbah. Aklimatisasi dilakukan secara bertahap yaitu dengan menaikkan konsentrasi air limbah sebesar 30%, 60%, dan 90%. Pentahapan konsentrasi air limbah bertujuan agar mikroorganisme beradaptasi dengan air limbah baru secara perlahan agar mikro organisme tidak mengalami shock loading. Aklimatisasi dilakukan selama 7 hari hingga mikroorganisme dapat mendegradasi bahan organik pada konsentrasi limbah tertinggi. Pada proses ini dilakukan pengamatan penurunan nilai BOD₅ atau COD.

Khusus untuk pembenihan biofilm di media penahan, yaitu di sabut kelapa dan ijuk, diperlukan perlakuan khusus. Pembenihan biofilm dilakukan dengan cara merendam media ijuk dan sabut kelapa dalam lumpur aktif yang berasal dari Instalasi Pengolahan Air Limbah Apartemen di Surabaya pada unit aerasi, kemudian dimasukkan dalam 6 buah bak yang berisi media ijuk dan sabut kelapa dengan berat media 25, 35 dan 45 gram. volume lumpur aktif yang dimasukkan sebesar 2 liter dengan MLSS \geq 2000 mg/L pada masing – masing bak. Setelah lumpur aktif dan media siap, proses aerasi dilakukan dengan nilai DO tidak kurang dari 2 mg/l (Ardhy and Damayanti, 2011). Suhu pada tahap pembenihan dikontrol pada kisaran 28-31°C sedangkan pH pada kisaran 6-8. Pembenihan ini dilakukan sampai media ditumbuhi biofilm, tumbuhnya biofilm ditandai dengan terlihatnya lapisan lendir yang menyelimuti permukaan

media ijuk. Pada proses seeding ini dilakukan pengamatan nilai MLSS dimana jika terjadi penurunan nilai MLSS menunjukkan adanya mikroorganisme yang telah melekat (Tran *et al.*, 2007). Dibawah ini, gambaran biofilm yang melekat pada media penahan, dalam hal ini adalah ijuk dan sabut kelapa, Gambar 3.1. Biofilm tumbuh di sabut kelapa dan ijuk.



Gambar 3.1. Biofilm tumbuh di ijuk dan sabut kelapa, (a) ijuk segar; (b) ijuk sesudah di tumbuhi biofilm; (c) sabut kelapa segar;(d) sabut kelapa sesudah ditumbuhi biofilm (Hendrasarie dan Zarfandi, *et al.*, 2021)

B. Sistem Kerja Sequencing Batch Reactor

Sebelum membahas sistem kerja, dibahas terlebih dahulu kandungan zat pencemar yang dominan terbesar pada limbah domestik, dari hasil riset ini, yang berasal dari limbah apartemen, dijelaskan dalam **Tabel 3.1.** Karakteristik Limbah Domestik

Tabel 3.1. Karakteristik Limbah Domestik, Limbah Apartemen

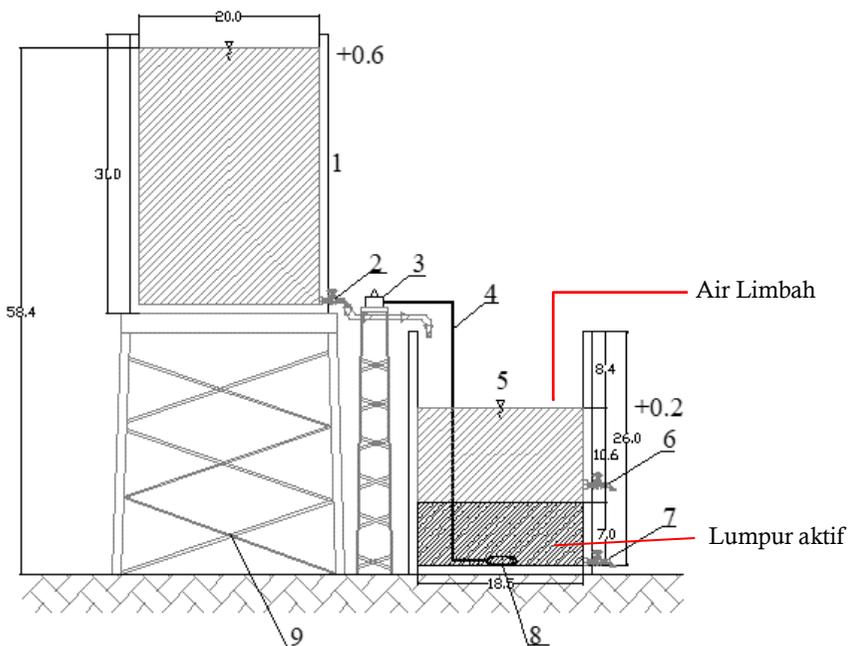
Karakteristik Air Limbah	Satuan	Nilai	Acuan Metode
COD	mg/L	379,7	SNI 6989.73 – 2009
BOD ₅	mg/L	164,3	SNI 6989.72 – 2009
TSS	mg/L	240	APHA 2540 D-2012
Minyak dan Lemak	mg/L	< 2,10	SNI 6989.10 – 2011
N Total	mg/L	26,1	APHA 4500 N – 2012
Total fosfat sebagai P	mg/L	0,683	APHA 4500 P-E, Ed.22, 2012
pH	-	8	SNI 06-6989.11-2004
Suhu	-	27,6	SNI 06-6989.23-2005

Sumber, data primer 2019

Desain reactor SBR yang dibuat untuk mengolah limbah domestik, dengan spesifikasi volume meliputi volume total reaktor : 7 L, volume kerja : 5 L, volume lumpur aktif: 2 L, volume air limbah 3 L. Sedangkan dimensi reactor itu sendiri, dalam penelitian ini adalah SBR yang dibuat berbentuk tabung, dengan diameter tabung 15 cm dan tinggi tabung 26 cm.

Sedangkan Hidraulic Retention Time (HRT) atau waktu kerja SBR selama satu siklus proses, dilakukan variasi HRT agar mendapatkan HRT yang optimal dalam mengolah limbah domestic. Variasi HRT tersebut adalah, pada penambahan adsorben menggunakan waktu 12, 24 dan 36 jam. Sedangkan pada penambahan media biofilm HRT yang digunakan adalah 23 ; 25 dan 27 jam.

Adapun sketsa dan susunan reaktor SBR modifikasi media biofilm dan adsorben, dapat dilihat pada pada **Gambar 3.2**



Gambar 3.2. Sketsa dan Susunan Reaktor (Zarfandi, 2019)

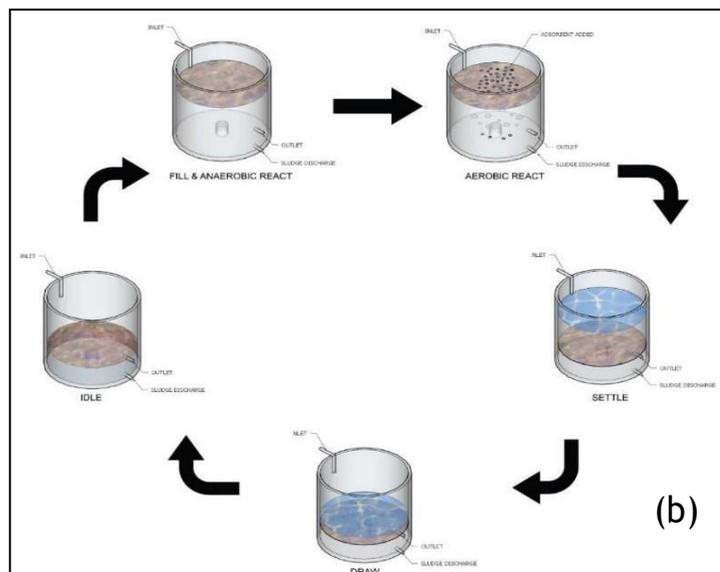
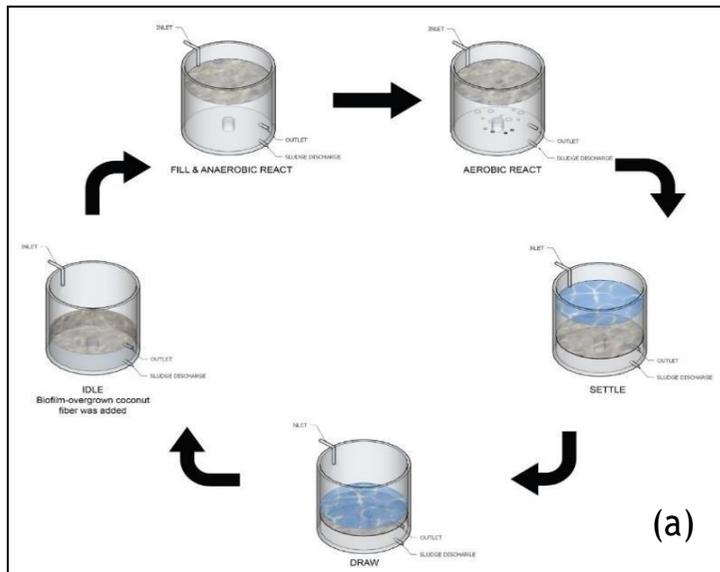
Keterangan Gambar :

- | | |
|------------------------------------|----------------------|
| 1. Bak Pengumpul | 6. Outlet Air Limbah |
| 2. Pengatur Debit | 7. Outlet Lumpur |
| 3. Aerator | 8. Difuser Udara |
| 4. Selang Udara | 9. Menara Penyangga |
| 5. <i>Sequencing Batch Reactor</i> | |

Proses pengolahan limbah domestik oleh *Sequencing Batch Reactor*, dilakukan oleh satu reaktor saja, yang dilakukan treatment pada jam tertentu berganti fase demi fase, selama proses yang ada. Penjelasan mekanismenya, sudah kita bahas di bab sebelumnya, hanya saja diperlukan penjelasan waktu operasional pada masing-masing fase yang ada.

Pada proses running ini meliputi tahap *fill* (pengisian), *Anaerobic* (stabilisasi), *react* (reaksi), *settle* (pengendapan), *Draw* (pengurasan). Adapun penjelasan fase pada masing-

masing modifikasi, yaitu penambahan biofilm dan penambahan adsorben, dijelaskan pada **Gambar 3.3** dibawah ini :



Gambar 3.3 Penjelasan Proses Siklus pada SBR, (a). Penambahan media biofilm, dan (b). Penambahan Adsorben

Pada **Gambar 3.3**, saat running, dilakukan penambahan media sabut kelapa dan media ijuk dengan berat 25, 35, dan 45 gram dan 1 reaktor kontrol. Di fase *react* ini, media penahan biofilm terangkat mengisi volume seluruh limbah. Hal ini dilakukan agar media penyangga mampu menurunkan kandungan organik, dengan bantuan biofilm yang melekat pada sabut kelapa dan ijuk. Pada tahap pengisian waktu yang dibutuhkan saat pengisian air limbah ke dalam reaktor yaitu 20 menit. Selanjutnya tahap anaerobik/stabilisasi dengan variasi waktu 6, 8, dan 10 jam. Selanjutnya tahap reaksi merupakan tahap pengoperasian secara batch aerob dimana waktu yang digunakan sesuai waktu perlakuan yaitu 15 jam. Selanjutnya yaitu tahap pengendapan dimana diberhentikannya aerasi pada tahap ini selama 1,5 jam. Selanjutnya pada tahap pengurasan dimana supernatant hasil pengendapan dikeluarkan dari dalam reaktor untuk dilakukan analisa COD, TSS, dan Total-N. Waktu stabilisasi yang menghasilkan efluen dengan penurunan COD dan Total-Nitrogen tertinggi merupakan waktu stabilisasi yang terbaik.

C. Efektifitas Penambahan Media Penyangga Biofilm dan Adsorben di *Sequencing Batch Reactor*

Tujuan dari penambahan media penyangga biofilm, penambahan adsorben dan lainnya, bertujuan untuk meningkatkan kinerja reaktor, waktu proses dapat disingkat, jenis lumpur yang dihasilkan tidak mudah *bulking* (tidak mau mengendap secara gravitasi). Didalam buku, dijelaskan modifikasi dengan penambahan media biofilm dan adsorben. Kedua proses ini sangat berbeda, jika media biofilm mengandalkan mikroba biofilm, sedangkan penambahan adsorben yang berperan adalah proses fisika yaitu penjerapan kandungan organik di adsorben yang

dibubuhkan. Berikut ini, penjelasan masing-masing modifikasi, hasil dari penelitian penulis bersama rekan dosen dan mahasiswa.

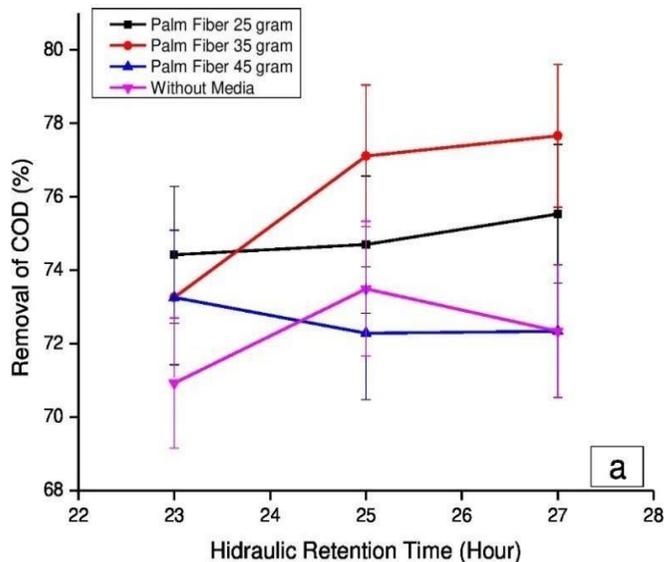
1. Modifikasi *Sequencing Batch Reactor* Dengan Penambahan Media Penahan Biofilm

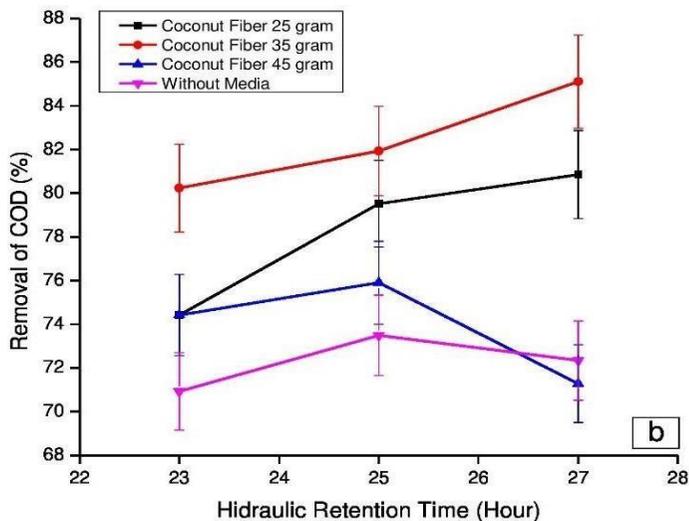
Dalam pembahasan materi ini, akan dijelaskan perbedaan efektifitas pengolahan SBR konvensional dengan penambahan media penahan biofilm. Parameter organik yang akan diturunkan, meliputi COD, BOD₅, TSS dan Total Nitrogen.

Adapun hasil penelitian dari pengolah limbah domestik sequencing batch reactor, dijelaskan dalam grafik yang menunjukkan persen penurunan zat pencemar oleh biofilm di media penahan dan mikroba tersuspensi.

Degradasi Penurunan Zat Pencemar COD

Berikut ini merupakan persen removal COD yang dihasilkan selama proses running dengan media ijuk dan sabut kelapa dapat dilihat pada **Gambar 3.4**. Kemampuan Penurunan COD di Media Penahan Biofilm





Gambar 3.4. Kemampuan Penurunan COD Dengan Modifikasi Media Penahan (a) ijuk (b) sabut kelapa

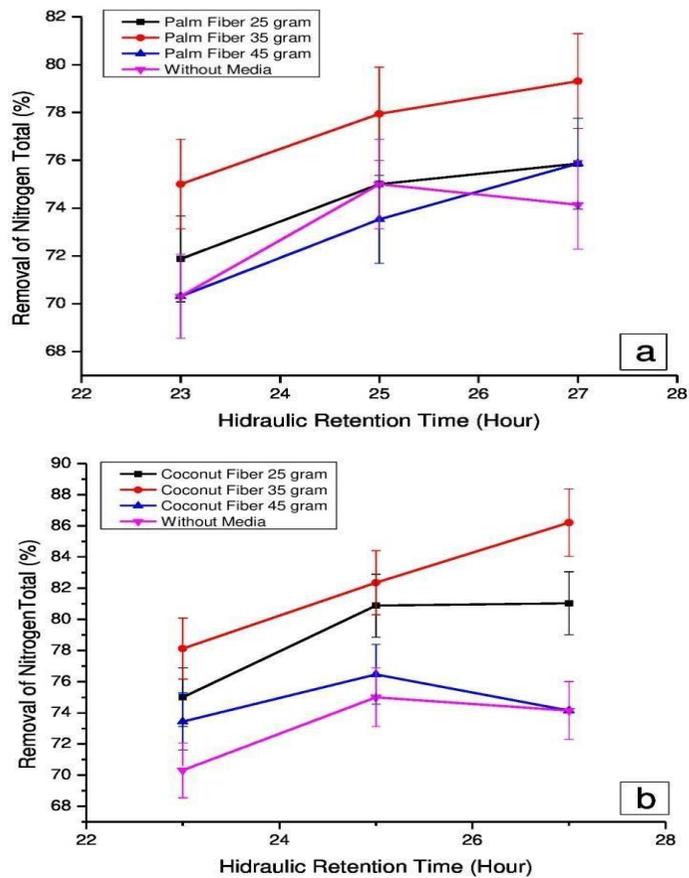
Berdasarkan **Gambar 3.4** kemampuan SBR dalam menurunkan COD mengalami peningkatan dari waktu tinggal ke waktu tinggal yang lainnya. Pada reaktor dengan penambahan ijuk menghasilkan efisiensi penurunan COD optimal pada berat media 35 gram berturut turut rata-rata sebesar 76 %. Sedangkan pada reaktor dengan penambahan media sabut kelapa menghasilkan efisiensi penurunan COD optimal pada berat media 35 gram berturut turut sebesar 85 %.

Pada berat media 25 gram dan 45 gram menghasilkan nilai efisiensi penurunan COD tidak maksimal. Hal tersebut di karenakan berat media mempengaruhi dalam penurunan konsentrasi COD. Semakin banyak massa media akan dapat menyebabkan *attachment* area yang besar untuk *biofilm*, namun semakin banyak massa media juga dapat menimbulkan bahaya tumbukan selama proses aerasi maupun *mixing* sehingga menyebabkan proses *deattachment* yang besar pula (Goode, 2010). Sehingga pada media dengan berat 25 gram dan 45 gram bukan berat yang ideal pada pengolahan ini.

Degradasi Penurunan Zat Pencemar Total Nitrogen

Berikut ini merupakan persen removal Total Nitrogen yang dihasilkan selama proses running dengan media ijuk dan sabut kelapa dapat dilihat pada Gambar 3.5 dibawah ini.

Berdasarkan **Gambar 3.5** Penurunan parameter Nitrogen Total sudah dapat disisihkan dengan baik. Penyisihan Nitrogen Total optimal pada reaktor dengan penambahan media ijuk terjadi pada berat 35 gram, pada rata-rata penurunan sebesar 78%, media sabut kelapa sebesar 85 %.



Gambar 3.5. Penurunan Total Nitrogen Dengan Media Penahan
(a) ijuk (b) sabut kelapa

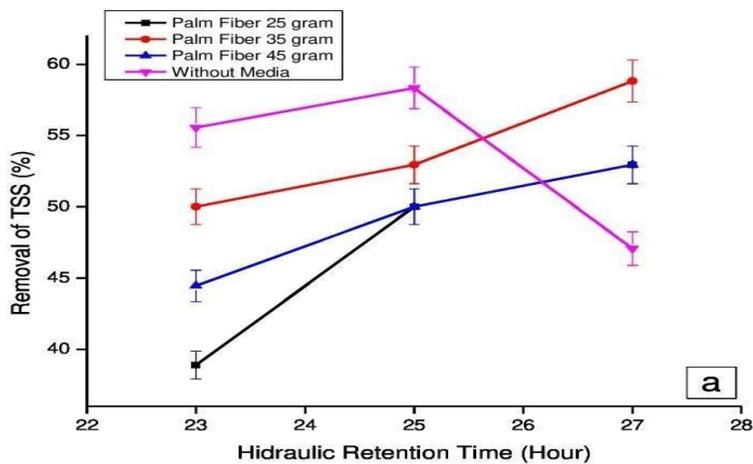
Degradasi Penurunan Zat Pencemar *Total Suspended Solid*

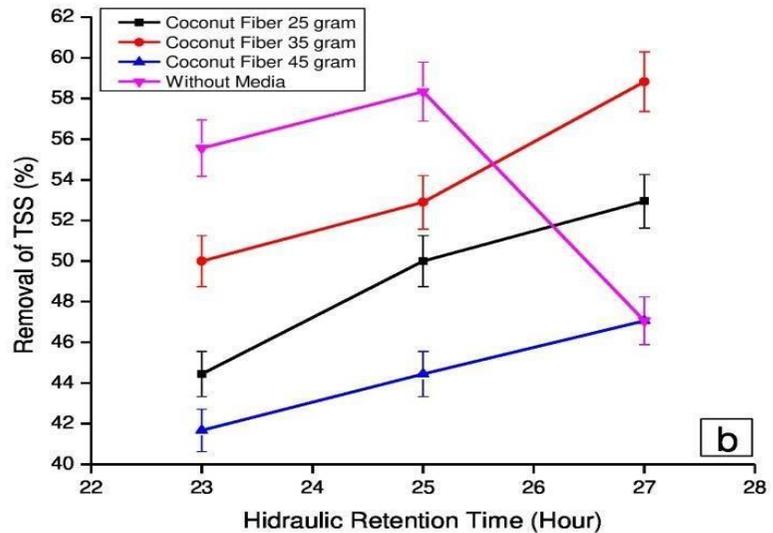
Berikut ini merupakan persen removal TSS yang dihasilkan selama proses running dengan media ijuk dan sabut kelapa dapat dilihat pada **Gambar 3.6**.

Kemampuan SBR dalam menurunkan *Total Suspended Solid* (TSS), kurang optimal. Penurunan TSS tertinggi pada waktu tinggal 27 jam terjadi pada reaktor dengan media ijuk 35 gram dan reaktor sabut kelapa 35 gram, efisiensi penurunan sebesar 58,82 %.

Namun juga terdapat reaktor dengan efisiensi penuruna TSS yang fluktuatif yang terjadi pada reaktor kontrol dan reaktor serabut kelapa 45 gram. Hal ini bisa diatasi dengan menambahkan *retention time di siklus settle*, di SBR sehingga TSS dapat mengendap dengan baik.

Dari Gambar 3.6 dapat dicermati, bahwa SBR tanpa tambahan media biofilm, pada HRT 27 jam yaitu HRT terlama dalam penelitian ini, penyisihan TSS nya mengalami penurunan. Artinya terjadi kondisi *bulking*, kondisi bulking adalah kondisi dimana TSS tidak mengendap sempurna ke dasar tangka, tetapi Kembali melayang didalam air limbah. Kondisi ini yang menyebabkan TSS dan COD meningkat.





Gambar 3.6. Kemampuan Penurunan Total Suspended Solid Dengan Modifikasi Media Penahan (a) ijuk, (b) sabut kelapa

2. Modifikasi *Sequencing Batch Reactor* Dengan Penambahan Adsorben

Penambahan adsorben atau karbon aktif pada SBR, bertujuan untuk menyisihkan zat-zat yang terlarut dalam cairan. Adsorpsi karbon aktif, terutama digunakan untuk menyisihkan senyawa organik yang susah diolah, dan juga dapat menyisihkan sisa senyawa anorganik seperti nitrogen, sulfida dan logam-logam berat. Karbon aktif yang ditambahkan adalah *Powder Activated Carbon* (PAC).

Karbon aktif powder digunakan karena memiliki kelebihan 1. Memiliki daya ikat flok yang kuat, 2. Murah, mudah diperoleh serta penggunaannya relatif praktis, 3. Tidak menimbulkan banyak endapan Pada pengoperasian secara batch, adsorbent dalam hal ini karbon aktif dikontakkan dengan cairan di dalam tangki dalam periode waktu tertentu, di siklus aerasi. Sehingga karbon aktif mampu mengadsorpsi zat-zat terlarut tersebut ke dalam celah-celah pada permukaan karbon, dan karbon aktif tersebut tidak perlu diregenerasi karena senyawa organik yang teradsorpsi pada permukaan karbon aktif menjadi makanan bagi biomassa sehingga karbon menjadi aktif kembali. (Sundstrom *et al.*, 1979).

Dibawah ini pembahasan mengenai penggunaan SBR dengan penambahan PAC. Dengan diatur laju aerasi rendah 3.5 L/menit (R1), tinggi 7 L/menit (R2).

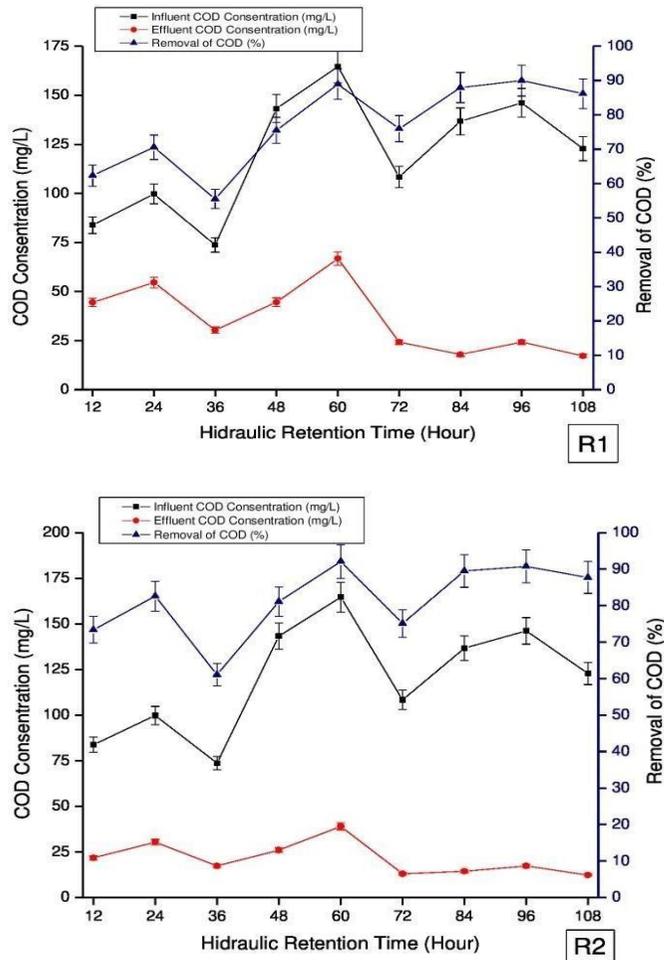
Degradasi Penurunan Zat Pencemar COD

Penyisihan COD akan semakin baik jika mengalami waktu stabilisasi dan waktu aerasi yang panjang, namun penyisihan COD sudah terjadi sejak tahap pengisian, karena pada tahap pengisian mikroorganisme berada dalam kondisi yang mempunyai banyak bahan-bahan organik. Sebelum memasuki tahap pengisian, mikroorganisme tidak mempunyai bahan-bahan organik sejak akhir tahap reaksi aerob hingga tahap stabilisasi, sehingga ketika memasuki tahap pengisian akan terjadi penyisihan bahan-bahan organik secara cepat (Junaidi, 2007).

Walaupun penyisihan COD sudah berlangsung sejak tahap pengisian, namun tetap saja penyisihan COD dapat terjadi secara sempurna pada tahap reaksi aerob. Hal itu karena pada saat proses aerasi mikroorganisme akan mendegradasi bahan-bahan organik. Pada saat mikroorganisme mendegradasi bahan-bahan organik, akan ada penyimpanan bahan-bahan organik baik dalam bentuk flok maupun terlarut. Dan pada tahap stabilisasi, produk hasil dari

penyimpanan tersebut akan dimetabolisme dan terjadi replikasi sel yang akan digunakan nantinya untuk menyimpan lebih banyak bahan-bahan organik (Grady Jr, 2011).

Dari **Gambar 3.7**, penyisihan COD terbaik pada laju aerasi 7 L/menit, dan waktu siklus terbaik 24. Penambahan adsorben, mempercepat proses penyisihan COD, karena kandungan organik berikatan dengan adsorben, sehingga mempercepat penyisihan COD.

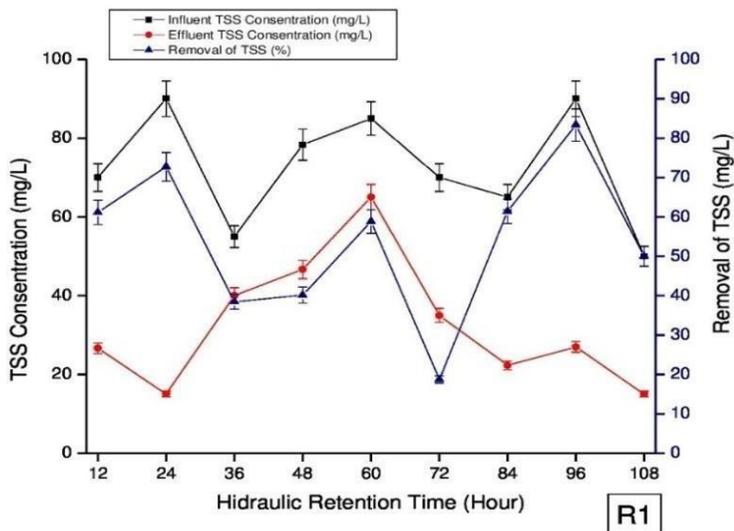


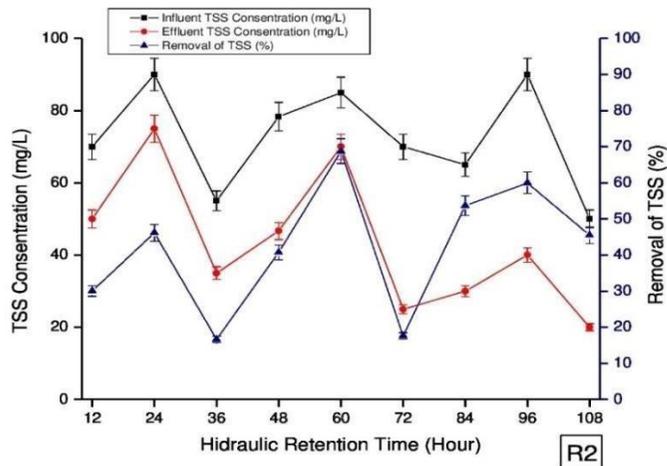
Gambar 3.7. Penurunan COD Dengan Modifikasi Media PAC pada laju aerasi 3.5 L/menit (R1) dan 7 L/menit (R2).

Degradasi Penurunan Zat Pencemar TSS

Jika berdasarkan pada tahapan-tahapan yang terjadi pada reaktor SBR, salah satunya adalah tahap pengendapan. Hal itu akan mendukung dalam penyisihan TSS, sebagaimana dengan unit pengolahan sedimentasi dapat menyisihkan TSS dengan proses pengendapan. Namun pada reaktor SBR waktu untuk tahap pengendapan lebih singkat, tentunya hal ini berpengaruh pada efisiensi penyisihan TSS. Dan selain itu dengan penambahan PAC saat pengoperasian SBR tentunya akan menghasilkan lebih banyak padatan tersuspensi, dimana seharusnya tahap pengendapan membutuhkan waktu yang lama agar padatan dapat mengendap dengan sempurna.

Dari **Gambar 3.8**, penyisihan TSS terbaik pada laju aerasi 3.5 L/menit, dan waktu siklus terbaik 36 jam. Laju aerasi yang rendah, mempercepat proses penyisihan TSS, karena memberi kesempatan TSS mengendap dan mengurangi gaya tumbukan antar partikel.





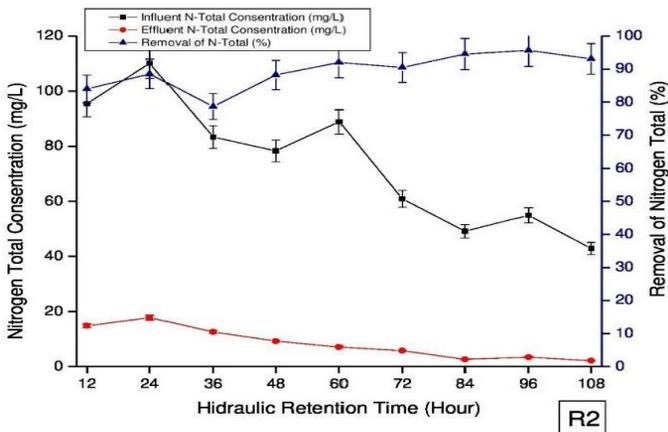
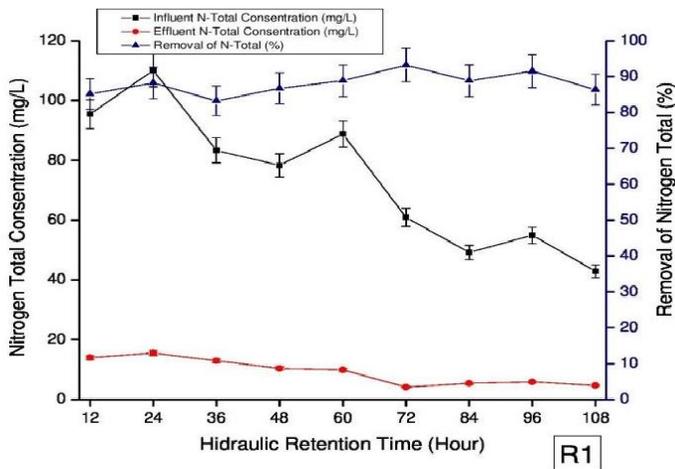
Gambar 3.8. Penurunan TSS Dengan Modifikasi Media PAC pada laju aerasi 3.5 L/menit (R1) dan 7 L/menit (R2).

Laju aerasi yang tinggi, seperti pada 7 L/menit, menyebabkan TSS yang terbentuk pecah lagi, sehingga terjadi *bulking*. *Bulking* adalah situasi dimana suspended solid yang terbentuk, seharusnya mengendap tetapi karena aerasi yang tinggi menyebabkan *suspended solid* tersebut pecah dan melayang didalam air, tidak bisa mengendap lagi.

Degradasi Penurunan Zat Pencemar Total Nitrogen

Nitrogen adalah parameter yang paling berdampak penurunannya akibat perubahan kondisi limbah dari anaerob menjadi aerob. Hal ini dikarenakan proses reaksi anaerob dan reaksi aerob mampu menurunkan konsentrasi Total N pada air limbah dengan baik. Hal ini berpengaruh karena pada reaksi anaerob aerob terjadi proses nitrifikasi dan denitrifikasi yang berperan dalam penurunan Total N. Dimana proses nitrifikasi dapat mengubah nitrogen ammonia menjadi nitrat, sedangkan denitrifikasi dapat mereduksi nitrat menjadi gas nitrogen. Penurunan konsentrasi Total N pada SBR-CF juga terbantu dengan reaktor anaerob yang terpisah dan memiliki waktu tinggal lebih lama dibandingkan dengan fase aerob di reaktor SBR-CF, yang memungkinkan terjadi proses nitrifikasi denitrifikasi yang lebih baik.

Pada **Gambar 3.9** kadar N Total sudah dapat disisihkan dengan baik. Dibuktikan dengan nilai rata-rata efisiensi penyisihan N Total yang sudah mencapai 94,54% pada R2 dengan HRT 36 jam dan laju aerasi 7 L/menit sebagai efisiensi penyisihan N Total tertinggi. Berdasarkan itu maka terbukti benar adanya dengan proses aerasi secara intermitten atau adanya tahap reaksi anaerob dan reaksi aerob, dapat menurunkan kadar N Total pada air limbah dengan baik.



Gambar 3.9. Penurunan Nitrogen Total Dengan Modifikasi Media PAC pada laju aerasi 3.5 L/menit (R1) dan 7 L/menit (R2).

Pada **Gambar 3.9** kadar N Total sudah dapat disisihkan dengan baik. Dibuktikan dengan nilai rata-rata efisiensi penyisihan N Total yang sudah mencapai 94,54% pada R2 dengan HRT 36 jam dan laju aerasi 7 L/menit sebagai efisiensi penyisihan N Total tertinggi. Berdasarkan itu maka terbukti benar adanya dengan proses aerasi secara intermitten atau adanya tahap reaksi anaerob dan reaksi aerob, dapat menurunkan kadar N Total pada air limbah dengan baik

D. Optimasi Waktu Retensi Hidraulik dan Laju Aerasi

1. Modifikasi *Sequencing Batch Reactor* Dengan Penambahan Adsorben

Berdasarkan efisiensi penyisihan yang dihasilkan dapat dikatakan bahwa waktu retensi hidrolis (HRT) dan laju aerasi mempengaruhi nilai konsentrasi efluen dan efisiensi penyisihan yang dihasilkan. Semakin lama HRT yang dioperasikan maka semakin tinggi hasil efisiensi penyisihannya, artinya efluen yang dihasilkan semakin baik dan mendekati baku mutu.

Begitu juga dengan laju aerasi, semakin tinggi laju aerasi yang diberikan untuk suplai oksigen maka efisiensi penyisihan yang dihasilkan juga akan semakin tinggi. Karena oksigen sangat penting pada pengolahan air limbah secara biologis, guna mendukung kehidupan mikroorganisme yang akan menurunkan atau menghilangkan kandungan bahan-bahan organik pada air limbah. Didapatkan bahwa waktu retensi hidrolis (HRT) yang terbaik dalam penurunan parameter COD dan N Total yaitu selama 36 jam dengan laju aerasi terbaik sebesar 7 L/menit.

2. Modifikasi *Sequencing Batch Reactor* Dengan Penambahan Media Penahan Biofilm

Berdasarkan efisiensi penyisihan COD, TSS, dan Nitrogen Total yang dihasilkan bahwa waktu stabilisasi dapat mempengaruhi nilai konsentrasi efluen dan efisiensi penyisihan yang dihasilkan. Pada penelitian ini semakin lama waktu stabilisasi

maka waktu tinggal total semakin lama. Menurut hasil penelitian Priyo, dkk (2010) Jika waktu tinggal yang lebih lama maka kontak limbah dengan bakteri biofilm akan semakin panjang sehingga memberikan efisiensi penurunan konsentrasi COD. Dapat dilihat bahwa hubungan antara persen removal Nitrogen Total dan COD terhadap waktu tinggal adalah, semakin lama waktu tinggal yang dioperasikan, maka semakin besar nilai penyisihan COD dan Nitrogen total. Hal ini dikarenakan bakteri yang berperan dalam penyisihan COD dan Nitrogen total mendapatkan waktu yang lebih lama.

Pada pengolahan limbah menggunakan SBR terjadi proses nitrifikasi dan denitrifikasi. Pada proses nitrifikasi terjadi penguaraian ammonium menjadi nitrit dan selanjutnya menjadi nitrat (Ibrahim, 2005). Proses nitrifikasi ini dapat dilihat dalam dua tahap yaitu nitritasi dan nitrasi. Tahap nitritasi merupakan tahap oksidasi ion ammonium (NH_4^+) menjadi ion nitrit (NO_2^-). Tahap yang kedua, nitrasi yang merupakan tahap oksidasi ion nitrit menjadi ion nitrat (NO_3^-). proses denitrifikasi. proses denitrifikasi adalah proses reduksi senyawa nitrat menjadi gas nitrogen. (Ibrahim, 2005). Untuk menguraikan nitrogen dengan sempurna denitrifikasi membutuhkan karbon (Junaidi, 2008). Dalam hal ini sumber karbon di peroleh dari COD pada air limbah domestik. Sehingga hubungan penurunan N total dan penurunan COD pada proses denitrifikasi adalah linier. Sedangkan untuk parameter TSS waktu stabilisasi tidak berpengaruh pada efisiensi penurunan TSS. Terjadinya nilai efisiensi penurunan TSS yang fluktuatif karena terjadinya deattachment pada media yang membuat parameter TSS menigkat dan kurang optimalnya waktu sedimentasi.

E. Kondisi *Dissolved Oxygen*, pH dan Suhu Saat Operasional

Parameter *Dissolved oxygen*, pH dan suhu, adalah parameter penting keberhasilan penyisihan kandungan organik pada suatu limbah cair. Parameter DO menentukan jenis mikroba pende-

gradasi kandungan organik. Berdasarkan keberadaan DO, kondisi limbah terbagi menjadi kondisi aerob (DO diatas 3 mg/L), kondisi anoxic atau fakultatif anaerob (kondisi DO 1-3 mg/L), kondisi anaerob (DO 0 mg/L).

Derajat keasaman atau pH adalah ukuran untuk menentukan sifat asam dan basa suatu larutan. pH air yang kurang dari 5 atau bersifat asam dapat menyebabkan korosi pada logam. Nilai pH air digunakan untuk mengekspresikan kondisi keasaman (konsentrasi ion hidrogen) air limbah. Skala pH berkisar antara 1–14. Kisaran nilai pH 1–7 termasuk kondisi asam, pH 7–14 termasuk kondisi basa, dan pH 7 adalah kondisi netral. Pengolah IPAL dapat membuat pH akan menjadi netral yang sesuai dengan baku mutu limbah yaitu 6-9. Efluen IPAL dengan nilai pH yang rendah kemungkinan disebabkan adanya aktifitas bakteri asetogenesis yang merubah senyawa organik dihidrolisa menjadi senyawa yang lebih sederhana akan tetapi nilai pH 5,5 akan mengakibatkan terhentinya aktifitas bakteri. pH untuk inlet dan outlet sesuai dengan standar baku mutu yang telah ditetapkan. (Lamato, dkk, 2016).

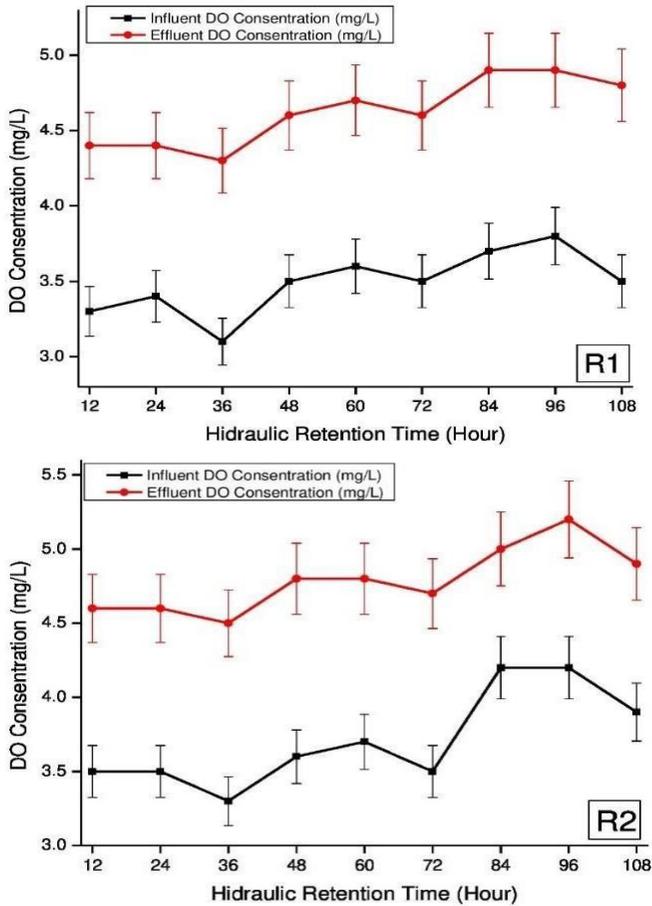
Suhu mengindikasikan terjadi proses biokimia yang artinya mikroba pendegradasi sedang bekerja. Jika terjadi proses degradasi, suhu biasanya meningkat secara signifikan, tetapi tidak meningkat tajam.

Dibawah ini, penjelasan kondisi ke tiga parameter pada masing-masing SBR dengan penambahan adsorben dan media penahan biofilm.

1. Modifikasi *Sequencing Batch Reactor* Dengan Penambahan Adsorben

Walaupun 36 jam merupakan HRT terbaik, namun konsentrasi DO pada tahap *anaerobic react* hanya sebesar 1 mg/L, maka dapat diartikan bahwa 1 mg/L termasuk kondisi fakultatif. Kondisi fakultatif ini sangat berpengaruh pada penurunan parameter

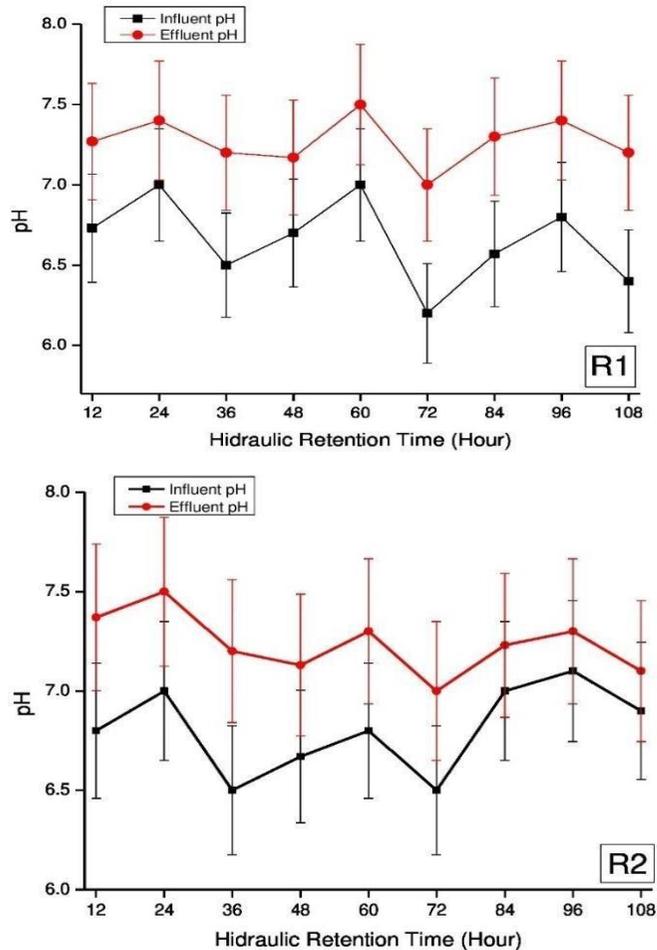
Nitrogen Total. Dimana denitrifikasi kurang berjalan maksimal dengan DO sebesar 1 mg/L. Secara umum nilai DO untuk denitrifikasi sebesar <0,5 mg/L tepatnya 0,2 mg/L (Metcalf & Eddy, 2014) supaya dapat dikatakan kondisi anaerob dan denitrifikasi dapat berjalan maksimal.



Gambar 3.10. Karakteristik DO Dengan Modifikasi Media PAC pada laju aerasi 3.5 L/menit (R1) dan 7 L/menit (R2).

Karakteristik DO pada laju aerasi 7 L/menit, nilai yang didapatkan lebih tinggi daripada laju aerasi 3.5 L/menit. Hal ini mendukung dari hasil penelitian, penurunan zat organik terbaik di laju aerasi 7 L/menit.

Karakteristik pH dari penelitian dengan penambahan adsorben, dijelaskan pada Gambar 3.11.

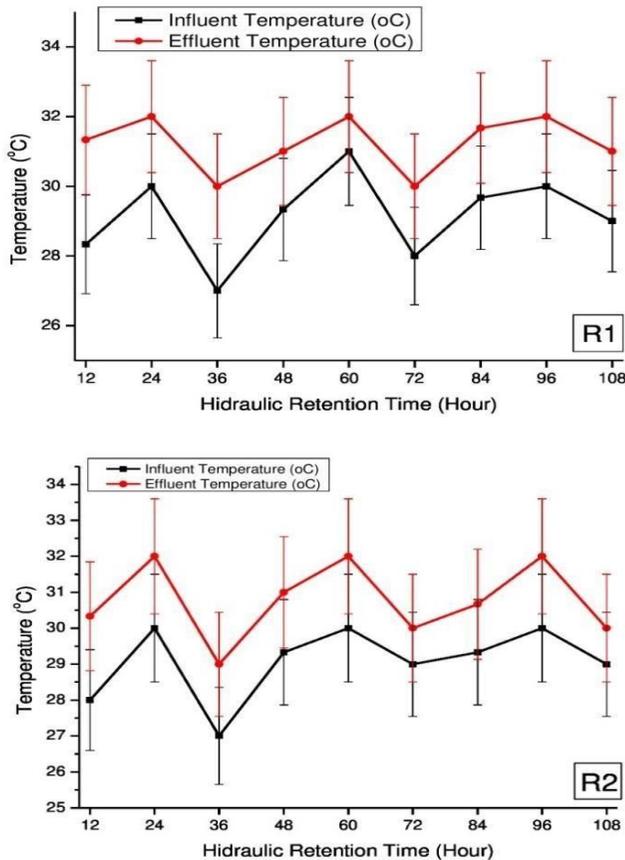


Gambar 3.11. Karakteristik pH Dengan Modifikasi Media PAC pada laju aerasi 3.5 L/menit (R1) dan 7 L/menit (R2).

Dari **Gambar 3.11**, karakteristik pH limbah awal adalah asam, dengan adanya pengolahan *Sequencing Batch Reactor*, pH rata pada pH netral. Karakteristik pH ini juga dipengaruhi oleh variasi laju aerasi. Pada laju aerasi 3.5 L/menit, dapat dilihat karakteristik pH rata-rata hampir mendekati 7.5. Sedang jika laju aerasi dinaikkan, maka pH rata-rata pada kisaran 7.0. pH inimen-

dakan akitivas mikroba pengurai, yang bekerja menguraikan kandungan organik sebagaizat pencemar, sehingga hasil akhir limbah zat pencemar sudah tereliminasi.

Temperatur, adalah parameter lingkungan ketiga yang berpengaruh pada kinerja SBR sebagai pengolah limbah berbasis biologi karena mengandalkan kerja mikroba pengurai, untuk menurunkan kandungan zat pencemar pada limbah. Karakteristik temperatur dijelaskan pada Gambar 3.12 yaitu karakteristik temperatur selama proses SBR dengan modifikasi adsorben.



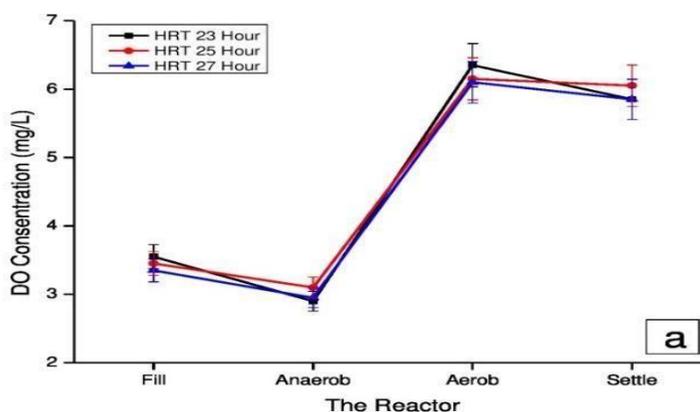
Gambar 3.12. Karakteristik Temperatur Pada Penambahan PAC pada laju aerasi 3.5 L/menit (R1) dan 7 L/menit (R2).

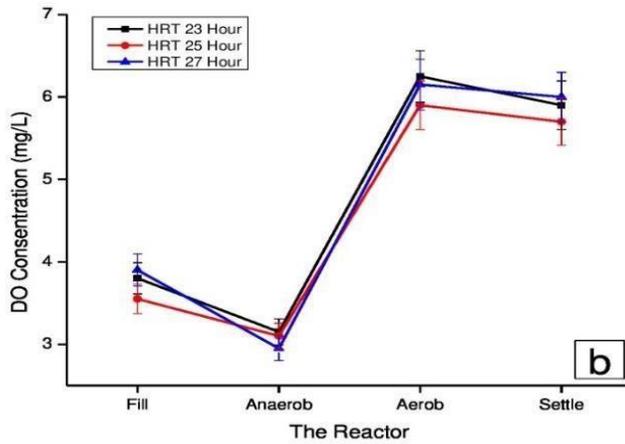
Karakteristik temperatur pada pengolahan SBR modifikasi adsorben didapatkan adanya peningkatan temperatur pada kisaran 9% sampai dengan 12%, hal ini menandakan adanya aktifitas penguraian oleh mikroba. Hasil penguraiannya menghasilkan peningkatan temperatur yang tidak terlalu tinggi, tetapi merupakan temperatur yang ‘nyaman’ oleh mikroba untuk menguraikan zat organik sebagai pencemar limbah

2. Modifikasi *Sequencing Batch Reactor* Dengan Penambahan Media Penahan Biofilm

DO merupakan salah satu komponen utama proses metabolisme mikroorganisme perairan. Berikut grafik uji parameter DO saat running pada reaktor dengan media sabut kelapa dengan berat media 35 gram pada waktu tinggal 27 jam dapat di lihat pada **Gambar 3.13** dibawah ini.

Berdasarkan **Gambar 3.13** menunjukkan adanya perubahan nilai DO pada setiap tahapan, dimana terjadi penurunan nilai DO pada saat stabilisasi dan settle. Penurunan nilai DO tersebut karena tidak ada supai udara yang masuk karena aerasi dalam kondisi mati. Penurunan DO tersebut karena lumpur aktif dalam SBR merupakan biomassa mikroorganisme aerobik, dimana semakin tinggi aktivitas maka oksigen yang dikonsumsi semakin meningkat (Sari *et al.*, 2013)

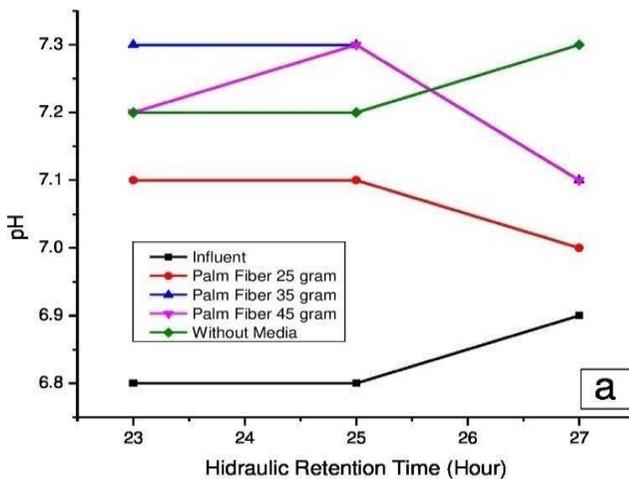


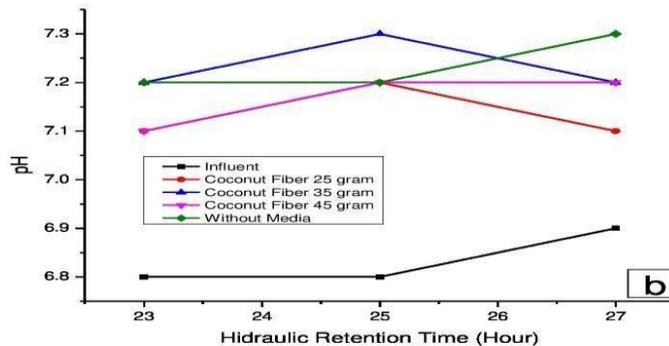


Gambar 3.13 Karakteristik DO, pada SBR media (a) ijuk (b) sabut kelapa dengan berat media 35 gram

Parameter pH dan suhu sebagai penunjang kehidupan mikroorganisme pada proses SBR. Selama proses running pH dan suhu sudah sesuai dengan kriteria.

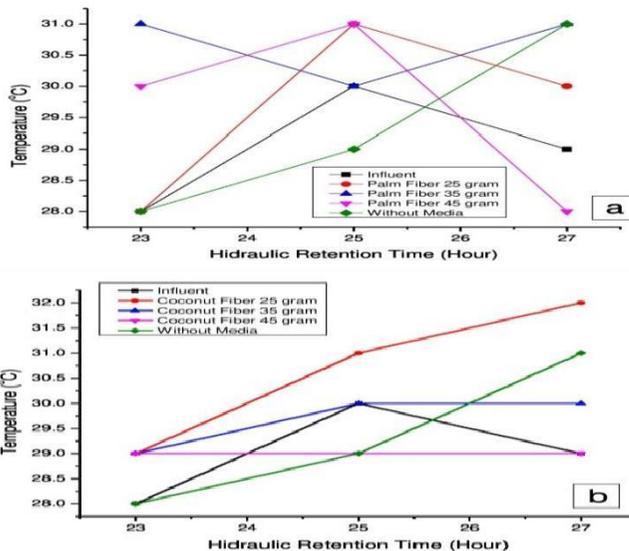
Berikut merupakan hasil uji parameter pH dan suhu selama proses running dapat dilihat pada **Gambar 3.14** dibawah ini.





Gambar 3.14. Karakteristik pH, pada SBR media (a) ijuk (b) sabut kelapa dengan berat media 35 gram

Berdasarkan **Gambar 3.14** dapat dilihat pH dan suhu pada limbah domestik apartemen pada influen dan efluen mengalami perubahan. pH efluen yang dihasilkan selama running dapat dikatakan cukup stabil dan terus mengalami peningkatan walaupun pH yang dihasilkan berfluktuatif. Maka mikroorganisme terbukti dapat bertahan hidup dengan baik. Nilai pH dalam setiap reaktor masih termasuk ke dalam rentang pH yang baik untuk partumbuhan dan perkembangbiakan, nilai pH tersebut yaitu 6.5-7.5.



Gambar 3.15. Karakteristik Temperature, pada SBR media (a) ijuk (b) sabut kelapa dengan berat media 35 gram

Sedangkan suhu disetiap reaktor cukup stabil dan perubahan nilai suhu berfluktuatif pada setiap reaktor. Suhu optimum bagi aktivitas bakteri sendiri berada pada rentang 25°C – 35°C, namun pada suhu 50°C aktivitas aerobik dan nitrifikasi akan berhenti (Metcalf & Eddy, 2003).

F. Identifikasi Bakteri Pendegradasi Limbah Domestik

Identifikasi mikroorganisme dalam reaktor SBR dengan penambahan media untuk mengetahui jenis mikroorganisme yang berperan dalam proses penyisihan bahan-bahan organik pencemar selama pengoperasian reaktor. Dalam pengolahan ini mikro organisme berperan penting dalam merombak bahan organik yang terkandung didalam air limbah. Berikut hasil identifikasi mikroorganisme dapat dilihat pada **Tabel 3.2** dibawah ini.

Tabel 3.2 Identifikasi Mikroorganisme Pada Biofilm

No	Genus Mikroorganisme
1	<i>Pseudomonas</i>
2	<i>Micrococcus</i>
3	<i>Bacillus</i>

(Sumber : data primer)

Berdasarkan **Tabel 3.2** genus mikroorganisme dominan yang berperan dalam SBR ini yaitu *Pseudomonas*, *Micrococcus* yang bersifat aerob dan *Bacillus* yang bersifat anoxic. Identifikasi mikroorganisme ini dilakukan pada biofilm yang melekat pada media. *Bacillus* dan *micrococcus* berperan dalam proses denitrifikasi. Pada kondisi anoxic, organisme denitrifikasi seperti *bacillus*, *micrococcus*, *alcaligenes* dan *spirillum* dapat menggunakan nitrat sebagai elektron akseptor selama proses respirasi (Maulana, 2016). jenis mikroba yang biasanya terdapat dalam lumpur aktif umumnya berupa: *Pseudomonas*, *Zooglea*, *Achromobacter*, *Flavobacterium*, *Nocardia*, *Bdellovobrio*, *Mycobacterium*, *Nitrosomonas* dan *Nitrobacter*.

BAB 4

PENUTUP

A. SIMPULAN

Dari pembahasan buku ini, yang membahas tentang pengolahan limbah padatan sempit, kami mengulas tentang teknologi *Sequencing Batch Reactor*, yang sudah diketahui kemampuannya untuk mengolah limbah organik sudah terbukti baik. Tetapi dalam buku ini, SBR tersebut kami modifikasi dengan tambahan adsorben untuk perlakuan pertama, dan penambahan media biofilm pada perlakuan yang kedua.

Dari pembahasan tersebut didapatkan bahwa *Sequencing Batch Reactor* (SBR) dengan adanya penambahan media biofilm, hasilnya mampu mendegradasi kandungan organik, lebih baik daripada SBR yang tanpa ditambah modifikasi. Efisiensi penyisihan COD tertinggi pada modifikasi yang menggunakan media sabut kelapa 35 gram, dengan kemampuan penyisihannya rata-rata sebesar 80.23 %, 81.93 %, dan 85.11 % pada setiap waktu tinggal. Sedangkan pada berat serabut kelapa yang sama, efisiensi penyisihan pada Nitrogen Total sebesar 78.13 %, 82.35 %, 86.21 %. Namun pada penyisihan parameter TSS kurang optimal dengan penyisihan TSS terbaik hanya sebesar 58.82 % pada semua media.

Sequencing Batch Reactor (SBR) dengan adanya penambahan adsorben, mampu mengolah parameter COD dengan sangat baik. hingga efluen yang dihasilkan sudah memenuhi baku mutu Dengan efisiensi penyisihan terbaik pada R2 (laju aerasi 7 L/menit) masing-masing sebesar 73,39%, 81,07% dan 89,5% pada setiap waktu tinggal. Sementara parameter N Total dapat diolah dengan SBR dengan efisiensi yang dihasilkan

yaitu rata-rata sebesar 94,54%. Untuk parameter TSS, reaktor SBR tidak dapat mengolahnya karena efluen yang dihasilkan berfluktuatif.

Waktu tinggal berpengaruh terhadap penurunan konsentrasi parameter, dimana HRT 36 jam adalah HRT optimal untuk menurunkan bahan- bahan organik yang terdapat pada air limbah. Mikroorganisme yang terdapat pada media reaktor SBR yang mendegradasi kandungan organik pada limbah domestik apartemen adalah genus *Micrococcus*, dan *Bacillus*.

B. REKOMENDASI

Untuk menguji kemampuan SBR, direkomendasikan menggunakan air limbah dengan kandungan bahan pencemar yang lebih tinggi dari limbah domestik apartemen, untuk penelitian lebih lanjut. Mengingat parameter pencemar TSS sulit diturunkan, disarankan menggunakan aliran kontinyu intermitten saat pengoperasian SBR, sehingga TSS dapat terolah dengan baik.

DAFTAR BACAAN

- Adav S S, Lee, D. J, Show, K. Y, Tay, J. H 2008. Aerobic Granular Sludge: Recent Advances, *Biotechnology Advances* 26,411-423. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.biotechadv.2008.05.002>
- Anisa, A., & Herumurti, W. (2017). Pengolahan Limbah Domestik Menggunakan Moving Bed Biofilm Reactor (MBBR) dengan Proses Aerobik-Anoksik untuk Menurunkan Konsentrasi Senyawa Organik dan Nitrogen. *Jurnal Teknik ITS*, 6(2), F361-F366.
- Angga, A. dan Hendrasarie, N., (2015) Penyisihan Kandungan Organik Limbah Melalui Penentuan Konstanta Substrat Dengan Menggunakan Rotating Biological Contactor (RBC), *Jurnal Envirotek, Teknik Lingkungan, UPN "Veteran" Jatim*.
- Bakare, B. (2017). Brewery wastewater treatment using laboratory scale aerobic sequencing batch reactor. *south african journal of chemical engineering*, 24, 128-134.
- Chiu YC, Lee LL, Chang CN, Chao AC., 2007, Control of carbon and ammonium ratio for simultaneous nitrification and denitrification in a sequencing batch bioreactor. *Int Biodeterior Biodegrad*. 59(1):1–7.
- Cervantes FJ, Editor. *Environmental technologies to treat nitrogen pollution*, IWA Publishing, London. 2009.
- Dutta A dan Sarkar S 2015. Sequencing Batch Reactor for Wastewater Treatment: Recent Advances. *Curr Pollution Rep* 2015 (1):177–190 DOI: 10.1007/s40726-015-0016-y
- Metcalf & Eddy, I. 2003. *Wastewater Engineering Treatment And Reuse*. Fourth Edition.

- Mohamad, A. B., Rahman, R. A., Kadhum, A. A. H., Abdullah, S. R. S., Sudin, Z. W. & Shaari, S. 2008. Removal Of Adsorbable Organic Halides From Recycled Pulp And Paper (P&P) Mill Effluent Using Granular Activated Carbon–Sequencing Batch Biofilm Reactor. *Modern Applied Science*.
- Tran, H.-T., Kim, D.-H., Jia, Y.-H., Oh, S.-J. & Ahn, D.-H. 2007. A Study On Start-Up Operation of Fixed-Bed Biofilm Sequencing Batch Reactor for Piggery Wastewater Treatment. *Journal of Industrial and Engineering Chemistry*, 13, 985-991.
- Trilita, M.N. and Hendrasarie, N. 2016. Removal of organic load in Communal wastewater by using the six stage Anaerobic Baffle Reactor, MATEC Web of Conference, 58 01023, DOI: 10.1051/conf/matec 501023
- Darmayanti, L. (2012). Kinetika Penyisihan Nitrogen Dalam Air Buangan Rumah Potong Hewan Pada Sequencing Batch Reactor Aerob. *Jurnal Teknobiologi*, 2(01).
- EC. (2005). Integrated Pollution Prevention and Control. Reference Document on Best Available Techniques in the Slaughterhouses and Animal by Products Industries European Commission.
- Eckenfelder, W. W. (1989). *Industrial water pollution control*: McGraw-Hill.
- Fatone F, Dante M, Nota E, Di Fabio S, Frison N, Pavan P, 2011, Biological short-cut Nitrogen removal from anaerobic digestate in a demonstration sequencing batch reactor. *Chem Eng Trans.*;24:1135–40.
- F. A. Sekarani and N. Hendrasarie, “Reduction of Organic Parameters in Apartment Wastewater using Sequencing Batch Reactor by adding Activated Carbon Powder,” *IOP*

Conf. Ser. Earth Environ. Sci., vol. 506, no. 1, 2020, DOI: 10.1088/1755-1315/506/1/012026.

Grady Jr, C. L. (2011). *Biological wastewater treatment*: CRC press

Hendrasarie, N. and Trilita, M.N., 2019, Removal of nitrogen - phosphorus in food wastewater treatment by the Anaerobic Baffled Reactor (ABR) and Rotating Biological Contactor (RBC), IOP Conference Series: Earth and Environmental Science 245 012017

Hendrasarie, N, Hermana J., Nurtono T., Dewanto, S, 2015, Rough and Splitted on the Surface of Disk in Rotating Biological Contactor to Treat *Tempe* Wastewater, *J. Appl. Environ. Biol. Sci.*, 5(12)56-63, 56-63

He, S.b. (2007). Improving the performance of sequencing batch reactor (SBR) by the addition of zeolite powder. *Journal of Hazardous Materials*, 142(1-2), 493-499.

Hendrasarie, N. and S. H. Maria, "Combining Grease Trap and Moringa Oleifera as Adsorbent to Treat Wastewater Restaurant," *South African J. Chem. Eng.*, vol. 37, no. December 2020, pp. 196–205, 2021, DOI: 10.1016/j.sajce.2021.05.004.

Hendrasarie, N., Zarfandi, F.I., Rosariawari,F., Putro,RKH., (2021) Addition of Fixed Bed Biofilm in Sequencing Batch Reactor to Remove Carbon-Nitrogen for Apartment Wastewater, IOP Conference Series: Earth and Environmental Science 245 012017

Junaidi, J. (2007). Unjuk Kerja Modifikasi SBR Aerob Terhadap Penyisihan COD. *Jurnal Presipitasi: Media Komunikasi dan Pengembangan Teknik Lingkungan*,2(1), 60-65.

- Levenspiel, O. (1999). Chemical reaction engineering. *Industrial & engineering chemistry research*, 38(11), 4140-4143.
- Li, J. (2008). Nutrient removal from slaughterhouse wastewater in an intermittently aerated sequencing batch reactor. *Bioresource Technology*, 99(16), 7644-7650.
- M. N. Trilita and N. Hendrasarie, (2016) Removal of organic load in communal wastewater by using the six-stage anaerobic baffled reactor (ABR), *MATEC Web of Conferences* 58, 01023
- Metcalf, E., & Eddy, M. (2014). Wastewater engineering, treatment and Resource recovery. *Mic Graw-Hill, USA*, 1530-1533.
- Sirianuntapiboon S, Sansak J. Treatability studies with granular activated carbon (GAC) and sequencing batch reactor (SBR) system for textile wastewater containing direct dyes. *J Hazard Mater.* 2008;159(2-3):404–11.
- Said, N. I. (2017). *Teknologi Pengolahan Air Limbah*. Jakarta: Erlangga.
- Said, N. I. (2018a). Paket Teknologi Pengolahan Air Limbah Rumah Sakit Yang Murah dan Efisien. *Jurnal Air Indonesia*, 2(1).
- Said, N. I. (2018b). Pengolahan Air Minum dengan Karbon Aktif Bubuk Prinsip Dasar Perhitungan, Perencanaan Sistem Pembubuhan dan Kriteria Disain. *Jurnal Air Indonesia*, 3(2).
- Setiati, R. (2016). Optimasi Pemisahan Lignin Ampas Tebu Dengan Menggunakan Natrium Hidroksida. *Ethos (Jurnal Penelitian Dan Pengabdian Masyarakat)*, 4(2), 257-264.

- Siregar, S. A. (2005). *Instalasi Pengolahan Air Limbah*: Kanisius.
- Sperling, M. v. (2007). Activated Sludge and Aerobic Biofilm Reactors. In A. Inc (Ed.), *Biological Wastewater Treatment* (First ed., Vol. 5). London: IWA Publishing.
- Wang, Y. (2009). Effect of influent nutrient ratios and hydraulic retention time (HRT) on simultaneous phosphorus and nitrogen removal in a two-sludge sequencing batch reactor process. *Bioresource Technology*, 100(14), 3506-3512.
- Wei, D., Xue, X., Chen, S., Zhang, Y., Yan, L., Wei, Q., & Du, B. (2013). Enhanced aerobic granulation and nitrogen removal by the addition of zeolite powder in a sequencing batch reactor. *Applied microbiology and biotechnology*, 97(20), 9235-9243.
- Wei, Y.-X. (2010). Enhancement of removal efficiency of ammonia nitrogen in sequencing batch reactor using natural zeolite. *Environmental Earth Sciences*, 60(7), 1407-1413.
- Yudo, S. (2011). Perencanaan Instalasi Pengolahan Limbah Domestik di Rumah Susun Karang Anyar Jakarta, *Jurnal Teknologi Lingkungan*, 9(1).
- Y-Q. Liu, Y. Kong, J.-H. Tay, and J. Zhu, 2011, Enhancement of start-up of pilot-scale granular SBR fed with real wastewater, *Separation and Purification Technology*, vol. 82, no. 1, pp. 190–196

MENGOLAH

Limbah Cair Domestik Dilahan Sempit

Limbah cair domestik meski 'hanya' mengandung zat pencemar organik, tetapi jika tidak diolah dengan baik, akan berdampak besar mencemari lingkungan, khususnya pada badan air di sekitar kita. Salah satu penghasil limbah cair domestik adalah apartemen, limbah yang dihasilkannya sangat kompleks karena selain limbah dari buangan manusia, juga berasal dari unit usaha lain seperti restaurant, laundry dan lain-lain yang umumnya ada pada sebuah apartemen.

Didalam buku ini, dibahas tentang bagaimana mengolah limbah domestik tersebut dengan memanfaatkan teknologi Sequencing Batch Reactor yang pengoperasiannya tidak membutuhkan lahan luas. Hal ini sesuai dengan lahan yang tersedia di kota besar sangat terbatas dan mahal.

Buku ini ditulis bertujuan untuk mempublikasikan hasil riset yang dilakukan oleh penulis bersama tim peneliti yang terdiri dari mahasiswa dan rekan sejawat. Semoga buku ini bisa menjadi referensi bagi para praktisi dan akademisi teknik lingkungan, kimia, biologi yang berkecimpung di bidang rekayasa pengolahan limbah.

TENTANG PENULIS



Dr. Ir. Novirina Hendrasarie, MT., adalah dosen tetap di Program Studi Teknik Lingkungan, Universitas Pembangunan Nasional "Veteran" Jawa Timur. Riwayat pendidikan penulis adalah studi S1 di Teknik Lingkungan, Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS) Surabaya, lulus tahun 1993. Melanjutkan studi S2 pada program studi Teknik Lingkungan, Program Pascasarjana ITS Surabaya, lulus tahun 2001. Memperoleh gelar Doktor dengan predikat

Cum Laude pada Program Studi Teknik Lingkungan, ITS Surabaya tahun 2017. Penelitiannya yang berfokus pada pengelolaan lingkungan dan teknologi di bidang rekayasa lingkungan, meliputi pengolahan air minum, air limbah, pencemaran udara, tanah, persampahan maupun limbah B3, sudah banyak dipublikasikan di baik skala nasional maupun Internasional.

E-mail :novirina@upnjatim.ac.id