

PENGOLAHAN AIR LIMBAH RUMAH SAKIT DENGAN PROSES BIOLOGIS BIAKAN MELEKAT MENGUNAKAN MEDIA PALSTIK SARANG TAWON

Oleh : Nusa Idaman Said *)

Abstrak

Masalah yang sering muncul dalam hal pengelolaan limbah rumah sakit khususnya untuk rumah sakit tipe kecil dan menengah adalah terbatasnya dana yang ada untuk membangun fasilitas pengolahan limbah serta biaya operasionalnya. Untuk mengatasi hal tersebut maka perlu dikembangkan teknologi pengolahan air limbah rumah sakit yang murah, operasionalnya mudah serta hemat energi.

Salah satu cara pengolahan air limbah rumah sakit yang murah, sederhana dan hemat energi adalah proses pengolahan dengan proses biofilter anaerob-aerob tercelup menggunakan media sarang tawon.

Tujuan penelitian ini adalah melakukan uji performance pengolahan air limbah rumah sakit dengan proses kombinasi biofilter tercelup anaerob dan aerob menggunakan media plastik tipe sarang tawon.

Pengolahan limbah rumah sakit dengan proses biofilter tercelup menggunakan media sarang tawon cukup tahan terhadap fluktuasi debit dan konsentrasi, terlihat dari tetap tingginya angka penyisihan COD, BOD, TSS, ammonia, dan deterjen. Total efisiensi penghilangan beberapa parameter polutan selama percobaan yakni untuk COD 87,0 – 98,6 %; BOD₅ 93,4 – 99,3 %; Total padatan tersuspensi (TSS) 80,0 – 97,8 %; Ammonia 93,75 – 98,2 % ; dan Deterjen (MBAS) 95,8 – 99,7%.

Kata Kunci : Limbah rumah sakit, proses biologis, biakan melekat, biofilter anaerob-aerob, media palstik sarang tawon.

1. PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Rumah sakit sebagai suatu bentuk industri jasa yang memberikan pelayanan kesehatan, terdiri atas berbagai unit operasional yang bekerja selama 24 jam per hari dan tujuh hari per minggu. Sebagai institusi yang bersifat sosio-ekonomis, rumah sakit mempunyai fungsi dan tugas memberikan pelayanan kesehatan kepada masyarakat.

Dalam berbagai kegiatannya, rumah sakit sangat berpotensi besar dalam mengkonsumsi berbagai sumber daya seperti air bersih, listrik, bahan bakar minyak, dan berbagai material medis dan non medis. Akibatnya, selain memberikan dampak positif bagi masyarakat sekitarnya, rumah sakit memberikan pula berbagai kemungkinan dampak negatif berupa pencemaran akibat pengelolaan dan

pengolahan limbahnya yang tidak sesuai dengan prinsip-prinsip pengelolaan lingkungan secara menyeluruh.

Air limbah yang berasal dari kegiatan rumah sakit merupakan salah satu sumber pencemar air yang sangat potensial. Hal ini disebabkan karena air limbah rumah sakit mengandung senyawa organik dengan konsentrasi yang cukup tinggi, juga kemungkinan mengandung senyawa-senyawa kimia lain serta mikro-organisme patogen yang dapat menyebabkan penyakit terhadap masyarakat di sekitarnya. Oleh karena potensi dampak air limbah rumah sakit terhadap kesehatan masyarakat sangat besar, maka setiap rumah sakit diharuskan mengolah limbahnya sampai memenuhi persyaratan standar baku mutu yang berlaku yakni sesuai Keputusan Menteri Negara Lingkungan Hidup Nomor : Kep-58/MENLH/12/1995 tentang Baku Mutu Limbah Cair Bagi Kegiatan Rumah Sakit. Berdasarkan sifat air limbah rumah sakit yang *biodegradable* tersebut, maka pengolahan air

*) *Peneliti pada Kelompok Teknologi Pengelolaan Air Bersih dan Limbah Cair, Pusat Pengkajian dan Penerapan Teknologi Lingkungan, BPPT.*

limbah rumah sakit untuk menurunkan kandungan zat organik akan lebih sesuai dilakukan dengan cara biologis. Pada umumnya di Indonesia pengolahan air limbah rumah sakit menggunakan sistem aerobik yakni proses lumpur aktif (*activated sludge system*).

Masalah yang sering muncul dalam hal pengelolaan limbah rumah sakit adalah terbatasnya dana yang ada untuk membangun fasilitas pengolahan limbah serta biaya operasionalnya cukup tinggi, khususnya untuk rumah sakit tipe kecil dan menengah. Untuk mengatasi hal tersebut maka perlu dikembangkan teknologi pengolahan air limbah rumah sakit yang murah, mudah operasinya serta hemat energi. Selain itu perlu penyebarluasan informasi teknologi khususnya untuk pengolahan air limbah rumah sakit, sehingga dalam memilih teknologi pihak rumah sakit mendapatkan hasil yang optimal.

Salah satu cara pengolahan air limbah rumah sakit yang murah, sederhana dan hemat energi adalah proses pengolahan dengan kombinasi proses biofilter anaerob-aerob menggunakan media sarang tawon. Dengan kombinasi proses biofilter anaerob-dan aerob tersebut diharapkan dapat diperoleh hasil air olahan yang cukup baik, serta proses pengolahan yang stabil.

1.2 Tujuan Penelitian

Tujuan penelitian ini adalah melakukan uji performance pengolahan air limbah rumah sakit dengan proses kombinasi biofilter tercelup anaerob dan aerob menggunakan media plastik tipe sarang tawon. Penelitian ini dilakukan dengan tujuan :

- Untuk mengetahui kemampuan penyisihan COD, BOD₅, TSS, ammonia, dan deterjen dengan menggunakan sistem biofilter gabungan bermedia sarang tawon pada setiap unit pengolahan.
- Untuk mengetahui hubungan antara fluktuasi debit terhadap penyisihan COD, BOD₅, TSS, ammonia, dan deterjen.

2. TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Limbah Rumah Sakit

Air limbah rumah sakit adalah seluruh buangan cair yang berasal dari hasil proses seluruh kegiatan rumah sakit yang meliputi limbah non medis (limbah domestik cair) yakni buangan kamar mandi, dapur, air bekas pencucian pakaian; limbah cair medis (limbah cair klinis) yakni air limbah yang berasal dari kegiatan klinis rumah sakit, misalnya air bekas cucian luka, cucian darah, air limbah laboratorium, dan lainnya

Persentase terbesar dari limbah rumah sakit adalah limbah non medis sedangkan sisanya adalah limbah yang terkontaminasi oleh *infectious agents* kultur mikroorganisme, darah, buangan pasien pengidap penyakit infeksi, dan lain-lain. Perbandingan persentase antara limbah non medis dan medis adalah 89% : 11 %.

Air limbah rumah sakit yang berasal dari buangan domestik maupun buangan limbah cair klinis umumnya mengandung senyawa pencemar organik yang cukup tinggi, dan dapat diolah dengan proses pengolahan secara biologis, sedangkan untuk air limbah rumah sakit yang berasal dari laboratorium biasanya banyak mengandung logam berat dan bila air limbah tersebut dialirkan kedalam proses pengolahan secara biologis, logam berat tersebut dapat mengganggu proses pengolahannya. Oleh karena itu untuk pengolahan air limbah rumah sakit, maka air limbah yang berasal dari laboratorium dipisahkan dan ditampung, kemudian diolah secara kimia-fisika, selanjutnya air olahannya dialirkan bersama-sama dengan air limbah yang lain, dan selanjutnya diolah dengan proses pengolahan secara biologis.

2.2 Pengolahan Air Limbah Secara Biologis

Pengolahan air buangan secara biologis adalah suatu cara pengolahan yang diarahkan untuk menurunkan atau menyisihkan substrat tertentu yang terkandung dalam air buangan dengan memanfaatkan aktivitas mikroorganisme untuk melakukan perombakan substrat tersebut.

Proses pengolahan air buangan secara biologis dapat berlangsung dalam tiga lingkungan utama, yaitu :

- Lingkungan aerob , yaitu lingkungan dimana oksigen terlarut (DO) di dalam air cukup banyak, sehingga oksigen bukan merupakan faktor pembatas.
- Lingkungan anoksik, yaitu lingkungan dimana oksigen terlarut (DO) di dalam air ada dalam konsentrasi rendah.

- Lingkungan anaerob, merupakan kebalikan dari lingkungan aerob, yaitu tidak terdapat oksigen terlarut, sehingga oksigen menjadi faktor pembatas berlangsungnya proses metabolisme aerob.

Berdasarkan pada kondisi pertumbuhan mikroorganisme yang berperan di dalam proses penguraian yang terdapat yakni :

- Reaktor dengan pertumbuhan atau biakan tersuspensi (*suspended growth reactor*), yaitu reaktor dimana mikroorganisme yang berperan pada proses biologis tumbuh dan berkembang biak dalam keadaan tersuspensi.
- Reaktor dengan pertumbuhan atau biakan melekat (*attached growth reactor*), yaitu reaktor dimana mikroorganisme yang berperan pada proses penguraian substrat tumbuh dan berkembang di atas suatu media dengan membentuk suatu lapisan lendir (lapisan *biofilm*) untuk melekatkan diri di atas permukaan media tersebut.

2.2.1 Proses Pengolahan Biologis Secara Anaerob

2.2.1.1 Mekanisme Proses Anaerob

Pada proses fermentasi metan, hampir semua polimer organik dapat diuraikan menjadi senyawa karbon tunggal. Tahap penguraian ini meliputi tahap pembentukan asam (acidification) dan tahap pembentukan gas metan (gasification)³. Proses asidifikasi dilakukan oleh kelompok acidogenic bacteria yang menghidrolisa senyawa-senyawa polimer dan mengkovernya menjadi asam-asam organik. Kemudian methanogenic bacteria pada tahap gasifikasi akan mengkatabolisasi hasil - hasil antara ini menjadi metan (CH₄) sebagai produk akhir.

Proses konversi yang melibatkan mikroorganisme dapat dibagi menjadi 3 tahapan proses, yaitu :

a. Tahap Hidrolisa dan pembentukan asam (*hydrolysis & acidogenesis*).

Polutan-polutan organik kompleks seperti lemak, protein dan karbohidrat pada kondisi anaerobic akan dihidrolisa oleh enzim hydrolase yang dihasilkan bakteri pada tahap pertama. Enzim penghidrolisa

seperti lipase, protease dan cellulase. Hasil hidrolisa polimer-polimer diatas adalah monomer seperti manosakarida, asam amino, peptida dan gliserin. Selanjutnya monomer-monomer ini akan diuraikan menjadi asam-asam lemak (lower fatty acids) dan gas hidrogen.

Bakteri yang berperan pada proses hidrolisis adalah:

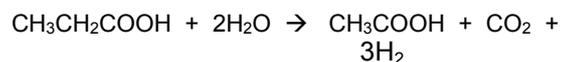
- Untuk hidrolisis dari protein dilakukan oleh bakteri *Clostridium*, *Proteus vulgaris*, *Streptococcus bacteriodes*, *Bacillus* dan *Vibrio*.
- Untuk hidrolisis dari karbohidrat dilakukan oleh bakteri *Clostridium*, *Staphylococcus bacteriodes*, dan *Acetovibrio cellulitus*.
- Hidrolisis dari lemak dilakukan oleh bakteri : *Staphylococcus*, *Clostridium*, dan *Micrococcus*

b. Tahap Asetogenesis

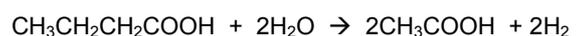
Tahap asetogenesis merupakan tahap pembentukan asam asetat. Asam asetat yang terbentuk sebagian besar berasal dari asam propionat dan asam butirrat. Pada tahap ini dihasilkan asam asetat, hidrogen dan karbondioksida.

Reaksi kimia pembentukan asam asetat adalah sebagai berikut:

- Asam propionat menjadi asam asetat :



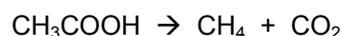
- Asam butirrat menjadi asam asetat :



c. Tahap Metanogenesis

Tahap ini merupakan tahap paling akhir dari mekanisme proses anaerob. Pada tahap ini gas metan akan terbentuk, baik yang berasal dari asam asetat maupun dari hidrogen. Secara keseluruhan tahap ini merupakan tahap paling menentukan dari keseluruhan tahap mekanisme proses anaerob. Proses metanogenesis merupakan proses yang berjalan paling lambat dari keseluruhan mekanisme proses anaerob. Hal ini disebabkan karena lambatnya pembelahan diri bakteri metana asetoklastik. Reaksi dari pembentukan gas metan adalah sebagai berikut :

Pembentukan gas metan dari asam asetat :



Pembentukan gas metan dari hidrogen :



Hal yang perlu diperhatikan dari ketiga tahap pada mekanisme proses anaerob adalah bahwa secara keseluruhan proses konversi tersebut dilakukan oleh aktivitas mikroorganisme yang berbeda. Dimana pada tahap hidrolisis dilakukan oleh bakteri fakultatif, sedangkan pada proses asetogenesis dilakukan oleh bakteri anaerob. Kecepatan pertumbuhan dari bakteri fakultatif adalah lebih besar dibandingkan dengan bakteri anaerob.

Sehingga jika terjadi ketidakseimbangan dari pembentukan asam organik akan mengakibatkan kegagalan pada proses pembentukan gas metan. Hal ini disebabkan karena konsentrasi asam organik yang terlalu tinggi akan melebihi konsumsi dari bakteri pembentuk gas metan tersebut.

2.2.1.2 Faktor-Faktor yang Mempengaruhi Mekanisme Proses Anaerob Keasaman (pH)

pH merupakan parameter yang besar pengaruhnya terhadap mekanisme proses anaerob terutama pada pertumbuhan bakteri. Pertumbuhan bakteri *methanogenic* akan optimum pada pH 6-8 dan bakteri *acetogenic* akan optimum pada pH 5 – 6.

Temperatur

Temperatur mempengaruhi kecepatan pertumbuhan mikroorganisme pada reaktor. Proses akan berfungsi dengan baik pada dua kondisi temperatur, yaitu

- Kondisi mesofilik (25 –40) °C
- Kondisi termofilik (55 – 65) °C

Oleh karena itu pengoperasian di luar batas tersebut akan berjalan kurang baik karena aktivitas mikroorganismenya rendah.

Kebutuhan Nutrien

Untuk keperluan metabolismenya, bakteri memerlukan sumber karbon dan nutrien. Nutrien yang terpenting adalah nitrogen dan fosfor. Untuk mendeskripsikan N dan P biasanya dinyatakan dalam angka perbandingan dari BOD : N : P. Disamping N dan P sebagai nutrien utama masih diperlukan nutrien mikro yang terdiri dari

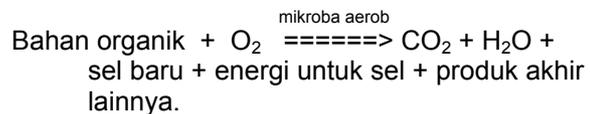
Fe^{2+} , Ni^{2+} , Mg^{2+} , Ca^{2+} , Ba^{2+} , Co^{2+} , dan SO_4^{2-} .

2.2.2 Proses Pengolahan Biologis Secara Aerob

2.2.2.1 Mekanisme Proses Aerob

Berbeda dengan proses anaerob, beban pengolahan pada proses aerob lebih rendah, sehingga prosesnya ditempatkan sesudah proses anaerob. Pada proses aerob hasil pengolahan dari proses anaerob yang masih mengandung zat organik dan nutrisi diubah menjadi sel bakteri baru, hidrogen maupun karbondioksida oleh sel bakteri dalam kondisi cukup oksigen.

Sistem penguraian aerob umumnya dioperasikan secara kontinyu. Persamaan umum reaksi penguraian secara aerob adalah sebagai berikut :



2.2.2.2 Faktor-Faktor Yang Mempengaruhi Mekanisme Proses Aerob

Temperatur

Temperatur tidak hanya mempengaruhi aktivitas metabolisme dari populasi mikroorganisme, tetapi juga mempengaruhi beberapa faktor seperti kecepatan transfer gas dan karakteristik pengendapan lumpur. Temperatur optimum untuk mikroorganisme dalam proses aerob tidak berbeda dengan proses anaerob.

Keasaman (pH)

Nilai keasaman atau pH merupakan faktor kunci bagi pertumbuhan mikroorganisme. Beberapa bakteri dapat hidup pada pH diatas 9,5 dan di bawah 4,0. Secara umum pH optimum bagi pertumbuhan mikroorganisme adalah sekitar 6,5-7,5.

Waktu Tinggal Hidrolis (WTH)

Waktu Tinggal Hidrolis (WTH) adalah waktu perjalanan limbah cair di dalam reaktor, atau lamanya proses pengolahan limbah cair tersebut. Semakin lama waktu tinggal, maka penghilangan atau penyisihan senyawa polutan yang terjadi akan semakin besar. Sedangkan waktu tinggal pada reaktor aerob sangat bervariasi dari 1 jam hingga beberapa hari.

Nutrien

Disamping kebutuhan karbon dan energi, mikroorganisme juga membutuhkan nutrisi untuk sintesis sel dan pertumbuhan. Kebutuhan nutrisi tersebut dinyatakan dalam bentuk perbandingan antara karbon dan nitrogen serta fosfor yang merupakan nutrisi anorganik utama yang diperlukan mikroorganisme dalam bentuk BOD : N : P

2.2.3 Pengolahan Air Limbah Dengan Proses Biologis Biakan Melekat

2.2.3.1 Reaktor Biofilter Tercelup

Reaktor biologis dengan biakan melekat sering kali dinamakan reaktor biofilter. Biofilter dengan biakan melekat adalah suatu bioreaktor dengan biakan melekat dimana mikroorganisme tumbuh dan berkembang di atas suatu media, yang dapat terbuat dari plastik atau batu, atau yang lainnya, yang mana di dalam operasinya dapat terendam di dalam air dengan membentuk suatu lapisan lendir untuk melekat di atas permukaan media tersebut, sehingga membentuk lapisan biofilm.

Biofilm tumbuh pada hampir semua permukaan di dalam suatu lingkungan perairan. Sistem biofilm ini kemudian dimanfaatkan dalam proses pengolahan air buangan untuk menurunkan kandungan senyawa organik. Biofilm merupakan lapisan yang terbentuk dari sel-sel bio solid dan material inorganik dalam bentuk polimerik matriks yang menempel pada permukaan media (*support media*).

Proses pengolahan air limbah dengan sistem biofilm atau biofilter secara garis besar dapat dilakukan dalam kondisi aerobik, anaerobik, atau kombinasi anaerobik dan aerobik. Proses aerobik dilakukan dengan kondisi adanya oksigen terlarut di dalam reaktor air limbah, dan proses anaerobik dilakukan dengan tanpa adanya oksigen di dalam reaktor air limbah. Sedangkan proses kombinasi anaerob-aerob adalah merupakan gabungan proses anaerobik dan proses aerobik. Proses operasi biofilter secara anaerobik digunakan untuk air limbah dengan kandungan zat organik cukup tinggi, dan dari proses ini akan dihasilkan gas metana. Jika kadar COD limbah kurang dari 4000 mg/l seharusnya limbah tersebut diolah

pada kondisi aerob, sedangkan COD lebih besar dari 4000 mg/l diolah pada kondisi anaerob.

2.2.3.2 Prinsip Pengolahan Air Limbah Dengan Proses Biofilter Tercelup

Mekanisme proses metabolisme di dalam sistem biofilter secara aerobik secara sederhana dapat diterangkan seperti pada Gambar 1. Gambar tersebut menunjukkan suatu sistem biofilm yang terdiri dari media penyangga, lapisan biofilm yang melekat pada media, lapisan air limbah dan lapisan udara yang terletak di luar. Senyawa pencemar yang terletak di dalam air limbah misalnya senyawa organik (BOD, COD), amonia, fosfor dan lainnya akan terdifusi ke dalam lapisan atau film biologis yang melekat pada permukaan media. Pada saat yang bersamaan dengan menggunakan oksigen terlarut di dalam air limbah senyawa pencemar tersebut akan diuraikan oleh mikroorganisme yang ada di dalam lapisan biofilm dan energi yang dihasilkan akan diubah menjadi biomassa. Suplai oksigen pada lapisan biofilm dapat dilakukan dengan beberapa cara misalnya pada sistem RBC yakni dengan cara kontak dengan udara luar, pada sistem *trickling filter* dengan aliran balik udara, sedangkan pada sistem biofilter tercelup dengan menggunakan blower udara atau pompa sirkulasi.

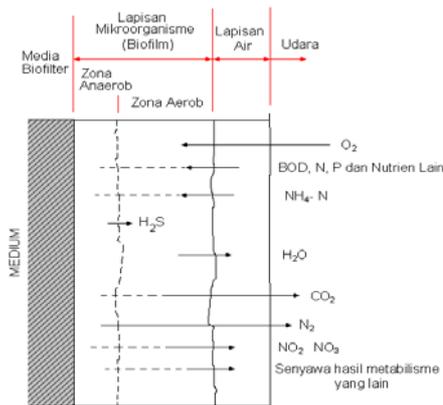
Jika lapisan mikrobiologis cukup tebal, maka pada bagian luar lapisan mikrobiologis akan berada dalam kondisi aerobik sedangkan pada bagian dalam biofilm yang melekat pada medium akan berada pada kondisi anaerobik. Pada kondisi anaerobik akan terbentuk gas H₂S, dan jika konsentrasi oksigen terlarut cukup besar maka gas H₂S yang terbentuk tersebut akan diubah menjadi sulfat (SO₄) oleh bakteri sulfat yang ada didalam biofilm.

Selain itu pada zona aerobik nitrogen-ammonium akan diubah menjadi nitrit dan nitrat dan selanjutnya pada zona anaerobik nitrat yang terbentuk mengalami proses denitrifikasi menjadi gas nitrogen. Oleh karena di dalam sistem biofilm terjadi kondisi anaerobik dan aerobik pada saat yang bersamaan maka dengan sistem tersebut proses penghilangan senyawa nitrogen menjadi lebih mudah.

Pengolahan air limbah dengan proses biofilm mempunyai beberapa keunggulan antara lain :

- Pengoperasiannya mudah
- Lumpur yang dihasilkan sedikit

- Dapat digunakan untuk pengolahan air limbah dengan konsentrasi rendah maupun konsentrasi tinggi.
- Tahan terhadap fluktuasi jumlah (debit) air limbah maupun fluktuasi konsentrasi.
- Pengaruh penurunan suhu terhadap efisiensi pengolahan kecil



Gambar 1 : Mekanisme proses metabolisme di dalam proses dengan sistem Biofilm.

2.2.3.3 Media Biofilter

Media biofilter termasuk hal yang penting, karena sebagai tempat tumbuh dan menempel mikroorganisme, untuk mendapatkan unsur-unsur kehidupan yang dibutuhkannya, seperti nutrisi dan oksigen. Dua sifat yang paling penting yang harus ada dari media adalah :

- Luas permukaan dari media, karena semakin luas permukaan media maka semakin besar jumlah biomassa per-unit volume.
- Persentase ruang kosong, karena semakin besar ruang kosong maka semakin besar kontak biomassa yang menempel pada media pendukung dengan substrat yang ada dalam air buangan

Untuk mendapatkan permukaan media yang luas, media dapat dimodifikasikan dalam berbagai bentuk seperti bergelombang, saling silang, dan sarang tawon.

Media yang digunakan dapat berupa kerikil, batuan, plastik (polivinil chlorida), pasir, dan partikel karbon aktif. Media yang sering digunakan pada proses biologis adalah media plastik yang terbuat dari PVC

Kelebihan dalam menggunakan media plastik ini antara lain :

- Mempunyai luas permukaan per m^3 volume sebesar $150 - 240 m^2/m^3$
- Volume rongga yang besar dibanding media lainnya.
- Penyumbatan pada media yang terjadi sangat kecil.

Beberapa contoh perbandingan luas permukaan spesifik dari berbagai media biofilter dapat dilihat pada Tabel 1 :

Tabel 1 : Perbandingan Luas Permukaan Spesifik Media Biofilter.

| No | Jenis Media | Luas Permukaan spesifik (m^2/m^3) |
|----|---|---------------------------------------|
| 1. | Trickling filter dengan batu pecah | 100 – 200 |
| 2. | Model sarang tawon (<i>honeycomb modul</i>) | 150 – 240 |
| 3. | Tipe jaring | 50 |
| 4. | RBC | 80 – 150 |

3. METODE PENELITIAN

3.1 Lokasi Penelitian

Tempat penelitian dilakukan di Instalasi Pengolahan Air Limbah Rumah Sakit Makna, Ciledug yang terletak di Jalan Ciledug Raya no. 4 A, Tangerang. Instalasi Pengolahan Air Limbah ini dibangun dengan kapasitas $12,5 m^3/hari$, yang dapat melayani rumah sakit dengan 50 tempat tidur. Pengolahan air limbah rumah sakit ini dilakukan dengan proses biofilter gabungan dengan menggunakan media sarang tawon.

Air yang diolah adalah limbah cair yang dihasilkan oleh kegiatan rumah sakit, yaitu yang berasal dari limbah domestik dan limbah yang berasal dari limbah klinis sehingga air hasil olahan dapat langsung dibuang ke saluran umum.

Tahap pelaksanaan penelitian dimulai dari penelitian pendahuluan, penelitian inti, analisa parameter, dan pengolahan data hasil penelitian.

3.2 Penelitian Pendahuluan

Pada penelitian pendahuluan dilakukan pemeriksaan air limbah yang belum terolah, mengukur dan mempelajari model dan

karakteristik unit pengolahan, mengukur debit yang terjadi untuk memperkirakan waktu pengambilan sampel.

A. Karakteristik Air Limbah Rumah Sakit Makna Ciledug.

Pemeriksaan air limbah Rumah Sakit Makna yang belum terolah ini dilakukan untuk menentukan parameter-parameter kualitas air yang akan diteliti.

B. Bentuk dan Spesifikasi Unit Instalasi Pengolahan Air Limbah

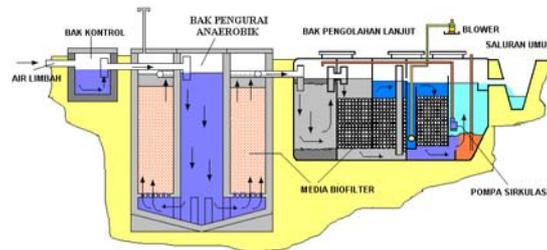
Model unit pengolahan ini secara garis besar terdiri dari bak kontrol, bak pengendapan dan pengurai anaerob serta unit pengolahan lanjut dengan sistem biofilter anoksik-aerob yang dilengkapi dengan blower sebagai penyalur oksigen dan pompa sirkulasi.

Bentuk dan spesifikasi bioreaktor tersebut dapat dilihat pada Tabel 2 serta Gambar 2 sampai dengan Gambar 4.

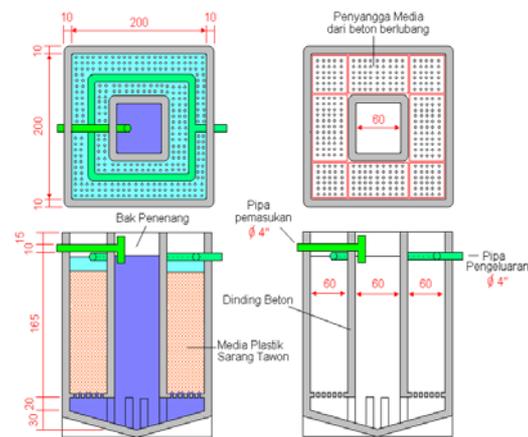
Tabel 2 : Spesifikasi Teknis IPAL Dengan Proses BiofilterAnaerob-Aerob.

| No | Unit | Spesifikasi Teknis |
|----|---|--|
| 1 | REAKTOR : a. Bak Kontrol | Bahan Beton Cor Dimensi : 50 cm x 50 cm x 60 cm Tinggi Air : 40 cm Pipa Inlet/Outlet : 4 " |
| | b. Bak Pengurai Anaerob | Bahan : Beton Cor Dimensi : Panjang : 200 cm Lebar : 200 cm Tinggi Air : 220 cm Pipa Inlet/Outlet : 4 " Volume bak : 7,17 m ³ Volume Media : Luas Kontak Media : 1189,89 m ² |
| | c. Bak Pengolahan Lanjut Bak pengolahan lanjut, terbagi atas lima ruang: 1. Ruang pengendapan awal 2. dua buah ruang biofilter anoksik 3. ruang biofilter aerob 4. ruang pengendapan akhir | Bahan fiber glass (FRP) Dimensi : Panjang = 310 cm Lebar = 100 cm Tinggi = 190 cm Pipa inlet dan outlet = 4" Volume bak = 5,2 m ³ Luas kontak media : Bak biofilter anoksik = 406,8 m ² Bak biofilter aerob= 238,995 m ² |
| 2 | Blower | HI-BLOW 60 Daya : 60 Watt; 220 Volt |

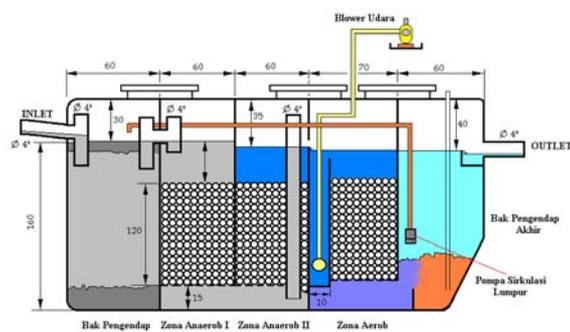
| | | |
|---|-----------------|--|
| 3 | Pompa sirkulasi | Tipe : Submersible pump Daya : 40 Watt, 220 Volt |
| 4 | Media Biofilter | Jenis : sarang tawon (cross flow) Bahan : PVC sheet Ketebalan : 0.5 mm Diameter lubang : (2 x 2) cm Warna : hitam Luas kontak spesifik: ± 226 m ² /m ³ Berat spesifik : 30 – 35 kg/m ³ Porositas rongga : 0.98 |



Gambar 2: Diagram Alir Unit Pengolahan



Gambar 3 : Penampang Bak Pengurai Anaerob



Gambar 4: Penampang Bak Pengolahan Lanjut

C. Fluktuasi Debit Air Limbah

Pengukuran fluktuasi debit yang terjadi dimaksudkan untuk memperkirakan waktu pengambilan sampel yang tepat. Pengukuran ini dilakukan dengan alat pengukur debit (*watermeter*) selama tujuh hari pengukuran sehingga dapat dilihat kecenderungan fluktuasi debit yang terjadi setiap hari.

3.3 Penelitian Inti

Penelitian inti bertujuan untuk mengetahui pengaruh fluktuasi debit terhadap penyisihan COD, BOD₅, TSS, ammonia, dan deterjen yang terkandung dalam air limbah Rumah Sakit Makna Ciledug dengan menggunakan proses biofilter anaerob-aerob menggunakan media palstik tipe sarang tawon.

A. Pengambilan Sampel

Maksud pengambilan sampel adalah mengumpulkan volume suatu lokasi sampling yang akan diteliti, dengan jumlah sekecil mungkin tapi masih mewakili (*representatif*), yaitu masih mempunyai semua sifat-sifat yang sama dengan lokasi sampling tersebut.

B. Waktu Pengambilan Sampel

Waktu pengambilan sampel dilakukan dengan dua variasi waktu, yaitu :

- Untuk pengambilan sampel pada titik inlet dan outlet diambil secara berkala dua jam sekali selama 24 jam (kecuali waktu aliran air kosong). Hal ini dimaksudkan untuk mengetahui pengaruh setiap perubahan besaran debit terhadap efisiensi pengolahan limbah.
- Untuk pengambilan sampel pada 4 titik sampling dilakukan pada waktu jam puncak berdasarkan studi debit yang telah dilakukan sebelumnya. Hal ini dimaksudkan untuk mengetahui efisiensi setiap unit pengolahan limbah. Pengambilan sampel dilakukan pada saat jam puncak, hal ini disebabkan karena pada saat jam puncak tersebut aliran air paling tinggi sehingga perhitungan waktu tinggal yang dilakukan berdasarkan volume bak dibandingkan dengan besarnya debit air masuk dapat dilakukan dengan teliti.

C. Titik Sampling

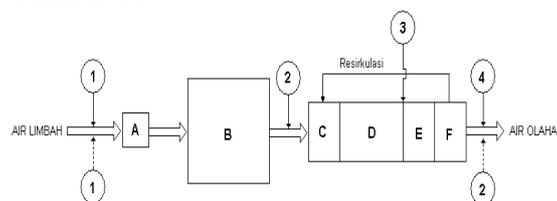
Untuk mengetahui pengaruh fluktuasi debit terhadap efisiensi keseluruhan sistem pengolahan, pengambilan sampel dilakukan di dua titik, yaitu :

- Influen bak pengolahan
- Efluen bak pengolahan

Sedangkan untuk mengetahui efisiensi dari unit-unit pengolahan, pengambilan sampel dilakukan di empat titik, yaitu :

- Titik influen bak pengolahan
- Titik efluen bak pengurai anaerob atau influen bak pengendap awal.
- Titik efluen bak biofilter anerob atau influen bak biofilter aerob.
- Titik efluen bak pengolahan.

Lokasi pengambilan sampel dapat dilihat pada Gambar 5 .



Gambar 5 Titik Pengambilan Sampel

Keterangan :

- ↓ = Titik pengambilan sampel untuk efisiensi perbak
- ↑ = Titik pengambilan sampel untuk efisiensi total unit pengolahan
- 1 = Lokasi pengukuran debit
- A = Bak kontrol
- B = Bak pengurai anaerob
- C = Bak pengendap awal
- D = Bak biofilter terendam anoksik
- E = Bak biofilter terendam aerob
- F = Bak pengendap akhir

3.4 Analisa Parameter

Pemeriksaan setiap parameter dilakukan sebanyak dua kali (duplo) dan untuk tiga kali sampling. Hal ini dimaksudkan untuk mengurangi kesalahan-kesalahan selama pemeriksaan sampel. Parameter yang diukur terdiri dari :

1. COD (*Chemical Oxygen Demand*)

COD merupakan parameter yang menunjukkan jumlah oksigen yang dibutuhkan untuk mengoksidasi zat-zat organik yang ada

dalam 1 liter sampel air, dimana pengoksidasi $K_2Cr_2O_7$ digunakan sebagai sumber oksigen.

Pengukuran COD secara luas digunakan sebagai alat untuk mengukur kekuatan pencemar buangan domestik maupun buangan industri. Metode yang digunakan pada pengukuran COD dalam penelitian kali ini adalah dengan metode *Closed Refluks* (fefluks tertutup) dengan spektrofotometri.

2. BOD (*Biological Oxygen Demand*)

Pengukuran BOD dilakukan untuk mengetahui jumlah oksigen yang diperlukan oleh bakteri untuk menguraikan atau mengoksidasi hampir semua senyawa organik yang terlarut dan sebagian senyawa organik yang tersuspensi dalam air.

3. Zat Padat Tersuspensi (TSS)

Dimaksudkan untuk mengetahui jumlah padatan yang tersuspensi dalam air. Metode yang digunakan dalam penetapan TSS kali ini adalah dengan menggunakan metode gravimetri.

4. Ammonia

Pemeriksaan ammonia dilakukan dengan metode kalorimetri yaitu dengan menambahkan reagen nessler dan warna yang terbentuk dibandingkan dengan standar menggunakan alat spektrofotometer. Prosedur analisa dilakukan sesuai dengan metode yang ditetapkan dalam buku *Standard Methods*.

5. Deterjen (MBAS)

Pemeriksaan deterjen (MBAS) dilakukan dengan metode spektrofotometri yaitu sampel yang mengandung detergen diekstrak dengan kloroform dan diikat dengan *methylene blue* dan diukur dengan menggunakan spektrofotometer pada panjang gelombang 625 nm.

4. HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN

4.1 Karakteristik Air Limbah

Air limbah dalam penelitian ini adalah air limbah Rumah Sakit Makna yang

berlokasi di Jalan Ciledug Raya, Tangerang dan tergolong rumah sakit kelas C. Air limbah yang diolah berasal dari kegiatan rumah sakit, yaitu yang berasal dari air limbah non medis maupun air limbah medis, dikumpulkan melalui saluran pipa pengumpul dan dialirkan ke bak kontrol untuk selanjutnya diolah di unit pengolahan .

Hasil analisa kualitas air limbah rumah sakit sebelum diolah dapat dilihat pada Tabel 3 berikut. Berdasarkan hasil analisa karakteristik air limbah Rumah Sakit Makna terlihat bahwa air limbah tersebut mempunyai nilai pH yang masih berada dalam kisaran pH optimum bagi bakteri, sehingga tidak mengganggu proses pengolahan. Kandungan zat organik yang dinyatakan sebagai COD termasuk dalam tingkat menengah.

Tabel 3: Karakteristik Air Limbah Rumah Sakit Makna

| Parameter | Satuan | Baku Mutu | Hasil Analisa |
|--|--------|-----------|---------------|
| I. Fisika | | | |
| Zat padat tersuspensi | mg/l | 30 *) | 260 |
| Zat padat terlarut | mg/l | 1000 | 50 – 485 |
| II. Kimia | | | |
| Ammonia (NH ₃) | mg/l | 5 | 2.8 – 12.5 |
| Nitrat (NO ₃) | mg/l | 10 | 0.7 |
| Nitrit (NO ₂) | mg/l | 1 | 0.05 |
| PH | - | 6-9 | 6.8 |
| Flourida (F) | mg/l | 2 | 0.25 |
| Sulfida (H ₂ S) | mg/l | 0.05 | Ttd |
| Klorin (Cl ₂) | mg/l | 1 | <0.1 |
| III. Khusus | | | |
| COD (K ₂ Cr ₂ O ₇) | mg/l | 80 *) | 190 – 4025 |
| BOD (20°C, 5 days) | mg/l | 30 *) | 92 – 2128 |
| Organic matter (KmnO ₄) | mg/l | 85 | 1085 |
| Surfactant anionic as MBAS | mg/l | 1 | 1.1 – 24.2 |
| Oil & Grease | mg/l | 5 | 17 |
| Phenol | mg/l | 0.5 | 0.25 |
| Cyanide (CN) | mg/l | 0.05 | <0.05 |
| IV. Logam | | | |
| Iron (Fe) | mg/l | 5 | 2.70 |
| Copper (Cu) | mg/l | 1 | <0.03 |
| Lead (Pb) | mg/l | 0.10 | <0.02 |
| Cadnium (Cd) | mg/l | 0.05 | <0.01 |
| Chromium Total | mg/l | 0.5 | <0.04 |
| Nickel (Ni) | mg/l | 0.10 | <0.05 |
| Zinc (Zn) | mg/l | 2 | 0.14 |
| Manganese (Mn) | mg/l | 2 | 0.20 |
| Mercury (Hg) | mg/l | 0.02 | <0.001 |
| Chrom Hexavalent (Cr ⁶⁺) | mg/l | 0.1 | <0.04 |

Keterangan :

- Baku Mutu Limbah Cair sesuai SK Gubernur DKI Jakarta No : 582 tahun 1995.
- *) Baku Mutu Limbah Cair sesuai Kep-58/MENLH/12/1995 tentang Baku Mutu Limbah Cair Bagi Kegiatan Rumah Sakit.

Limbah cair dapat diklasifikasikan berdasarkan tingkat biodegradabilitasnya. Limbah cair tergolong biodegradable bila nilai ratio BOD terhadap COD sekitar 0,65; tergolong sedikit biodegradable bila nilai ratio tersebut sekitar 0,32; dan tergolong kurang biodegradable bila nilai ratio BOD terhadap COD sekitar 0,16. Berdasarkan hasil penelitian didapat angka perbandingan BOD/COD adalah 0,5 termasuk dalam kategori limbah cair yang biodegradable. Tingkat biodegradabilitas yang tinggi ini mengindikasikan bahwa pengolahan secara biologi memberikan berbagai keuntungan dibanding dengan pengolahan secara kimia atau fisika. Sedangkan kandungan logam pada air limbah tersebut masih berada di bawah baku mutu, sehingga tidak bersifat toksik bagi bakteri metanogen dan bakteri pendegradasi senyawa organik lainnya.

4.2 Pengukuran Debit

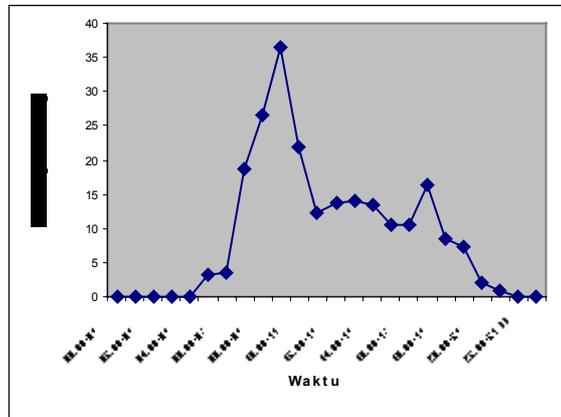
Berdasarkan pengukuran debit yang dilakukan selama tujuh hari pengukuran diketahui bahwa debit total rata-rata pemakaian air per hari untuk rumah sakit ini adalah sebesar 9,165 m³/hari. Debit ini berfluktuasi sesuai dengan kegiatan-kegiatan yang menggunakan air yang dilakukan di rumah sakit tersebut. Kegiatan pemakaian air terbesar terjadi pada pukul 09.00-10.00 untuk pagi hari, dimana pada saat itu air banyak digunakan untuk mencuci pakaian, spre, serta peralatan pasien lainnya. Setelah itu pemakaian air cenderung menurun kuantitasnya, dan baru meningkat lagi pada pukul 17.00-18.00 dimana pada saat itu air banyak digunakan untuk mandi pasien.

Selain itu debit harian yang terjadi di Rumah Sakit Makna dipengaruhi oleh jumlah pasien yang ada dan karyawan yang bekerja pada rumah Sakit Makna tersebut. Grafik fluktuasi debit rata-rata dan grafik volume kumulatif pemakaian air terhadap waktu dapat dilihat pada Gambar 6 dan Gambar 7.

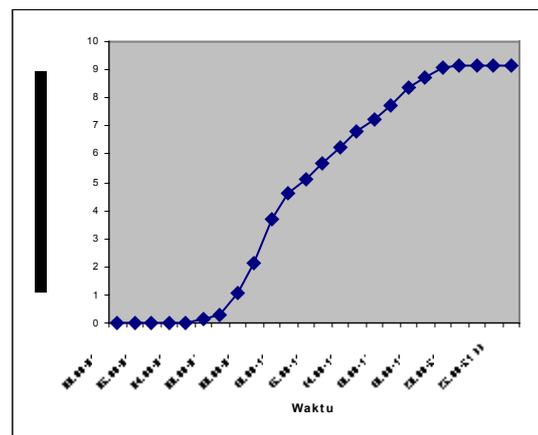
Unit pengolahan air limbah Rumah Sakit Makna menggunakan sistem biofilter gabungan bermedia sarang tawon dengan kapasitas sebesar 12,5 m³ dan terdiri dari dua bak pengolahan utama.

Bak pengolahan pertama disebut sebagai bak pengurai anaerob dengan bentuk limas terpancung dan bervolume 7,2 m³. Bak pengurai anaerob ini terdiri atas

dua ruang utama, yaitu bak penenang yang berfungsi mengendapkan padatan yang terdapat dalam air limbah dan bak biofilter anaerob tercelup dengan aliran dari bawah ke atas yang berfungsi sebagai tempat proses degradasi air limbah secara anaerob.



Gambar 6 : Grafik Fluktuasi Debit Harian Rata-Rata



Gambar 7 : Grafik Debit Kumulatif Rata-Rata

4.3 Proses Pengolahan Air Limbah

Selanjutnya air limbah dialirkan ke bak pengolahan lanjut yang terdiri atas lima ruang utama, yaitu ruang pengendapan awal, ruang biofilter anoksik aliran keatas, ruang biofilter anoksik aliran ke bawah, ruang biofilter aerob dan ruang pengendapan akhir.

Diagram alir unit pengolahan limbah dapat dilihat pada Gambar 5.

4.4 Efisiensi Pengolahan

Untuk mengetahui efisiensi pengolahan pada masing-masing bak pengolahan ini maka

dihitung efisiensi pengolahan yang diperoleh dari tiap bak dan massa penyisihan rata-rata.

Hasil yang diperoleh berasal dari analisa kualitas air limbah pada inlet dan outlet masing-masing bak pengolahan pada saat jam puncak yaitu antara jam 09.00-10.00. Tingkat efisiensi yang diperoleh dari unit pengolahan tersebut menunjukkan hasil yang tidak selalu sama, hal ini disebabkan karena beberapa faktor yang dapat mempengaruhi tingkat efisiensi dari unit pengolahan tersebut antara lain faktor fluktuasi kualitas air limbah yang masuk, waktu tinggal air limbah di dalam unit pengolahan, dan sewaktu-waktu dapat juga terjadi hal-hal yang tidak diinginkan seperti kerusakan pada alat-alat pendukung unit pengolahan ini.

4.4.1 Bak Pengurai Anaerob

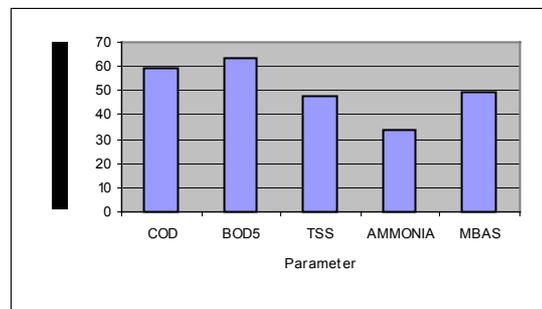
Besarnya efisiensi pengolahan yang dihasilkan pada bak pengurai anaerob dalam unit pengolahan ini seperti terlihat pada Tabel 4. Dari tabel tersebut terlihat bahwa di dalam bak pengurai anaerob efisiensi terbesar terjadi pada penyisihan BOD₅, yaitu sebesar 63,02 %, sedangkan efisiensi terkecil terjadi pada penyisihan ammonia yaitu 33,64%.

Tabel 4 : Penyisihan COD, BOD₅, TSS, Ammonia, dan Deterjen pada Bak Pengurai Anaerob saat Jam Puncak

| Parameter | Sampel Tanggal | Konsentrasi (mg/l) | | Penyisihan (%) |
|------------------|----------------|--------------------|--------|----------------|
| | | Influen | Efluen | |
| COD | 22-6-2001 | 190 | 75 | 60.53 |
| | 27-6-2001 | 245 | 98 | 60 |
| | 30-6-2001 | 240 | 105 | 56.25 |
| | rata-rata | 225 | 92.67 | 58.93 |
| BOD ₅ | 22-6-2001 | 92 | 40 | 56.52 |
| | 27-6-2001 | 128 | 43 | 66.41 |
| | 30-6-2001 | 124 | 42 | 66.13 |
| | rata-rata | 114.67 | 41.67 | 63.02 |
| TSS | 22-6-2001 | 55 | 32 | 41.82 |
| | 27-6-2001 | 50 | 26 | 48 |
| | 30-6-2001 | 80 | 42 | 47.5 |
| | rata-rata | 61.67 | 33.33 | 45.77 |
| Ammonia | 22-6-2001 | 6.65 | 4.1 | 38.35 |
| | 27-6-2001 | 12 | 7.85 | 34.58 |
| | 30-6-2001 | 12.5 | 9 | 28 |
| | rata-rata | 10.38 | 6.98 | 33.64 |

| Deterjen | 22-6-2001 | 19 | 7.2 | 62.11 |
|----------|-----------|-------|------|-------|
| | 27-6-2001 | 14.5 | 8.2 | 43.45 |
| | 30-6-2001 | 12 | 6.75 | 43.75 |
| | rata-rata | 15.17 | 7.38 | 49.77 |

Senyawa organik (COD dan BOD₅) mengalami angka penyisihan terbesar di bak biofilter anaerob. Karena efluen pada bak biofilter anaerob ini masih di atas baku mutu dan masih dapat didegradasi secara biologis, maka diperlukan bak biofilter anoksik dan aerob. Bak biofilter aerob juga berguna untuk menurunkan bau dan meningkatkan DO pada efluen akhir. Kecenderungan efisiensi penyisihan di dalam bak pengurai anaerob dilampirkan dalam Gambar 8.



Gambar 8 : Grafik Efisiensi Pengolahan Bak Pengurai Anaerob

Efisiensi pengolahan bak pengurai anaerob dapat juga ditinjau dalam bentuk perhitungan massa zat pencemar rata-rata yang tersisihkan perhari selama waktu pengambilan sampel. Jumlah massa rata-rata yang tersisihkan tersebut dapat dihitung dengan persamaan berikut :

$$(S_i - S_e) \text{ g/m}^3 \times Q \text{ air buangan m}^3/\text{hari, dengan } Q = 9,165 \text{ m}^3/\text{hari}$$

Tabel 5 : Jumlah Massa Rata- Rata yang Tersisihkan di Bak Pengurai Anaerob

| Parameter | Konsentrasi (gr/m ³) | | Massa Tersisihkan Rata-Rata (gr/hari) |
|-----------|----------------------------------|--------|---------------------------------------|
| | Influen | Efluen | |
| COD | 225 | 92.67 | 112.80 |
| BOD | 114.67 | 41.67 | 669.04 |
| TSS | 61.67 | 33.33 | 259.74 |
| Ammonia | 10.38 | 6.98 | 31.16 |
| Deterjen | 15.17 | 7.38 | 71.40 |

4.4.2 Bak Biofilter Tercelup Anoksik

Besarnya efisiensi pengolahan rata-rata yang dihasilkan pada bak biofilter terendam anoksik dalam unit pengolahan ini seperti terlihat pada Tabel 6.

Tabel 6: Penyisihan COD, BOD₅, TSS, Ammonia, dan Deterjen pada Bak Biofilter Terendam Anoksik saat Jam Puncak.

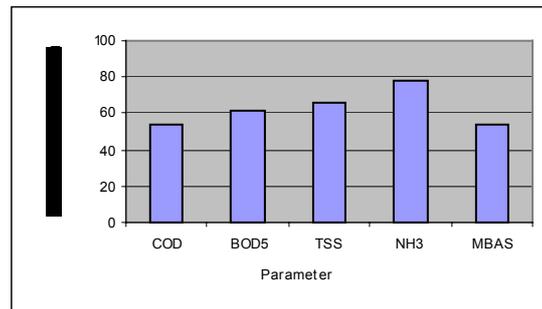
| Parameter | Sampel Tanggal | Konsentrasi (mg/l) | | Penyisihan (%) |
|------------------|----------------|--------------------|--------|----------------|
| | | Influen | Efluen | |
| COD | 22-6-2001 | 75 | 36 | 52.00 |
| | 27-6-2001 | 98 | 43 | 56.12 |
| | 30-6-2001 | 105 | 49 | 53.33 |
| | Rata-rata | 92.67 | 42.67 | 53.82 |
| BOD ₅ | 22-6-2001 | 40 | 16 | 60.00 |
| | 27-6-2001 | 43 | 16 | 62.79 |
| | 30-6-2001 | 42 | 16 | 61.90 |
| | Rata-rata | 41.67 | 16 | 61.57 |
| TSS | 22-6-2001 | 32 | 10 | 68.75 |
| | 27-6-2001 | 26 | 10 | 61.54 |
| | 30-6-2001 | 42 | 14 | 66.67 |
| | Rata-rata | 33.33 | 11.33 | 65.65 |
| Ammonia | 22-6-2001 | 4.1 | 1.3 | 68.29 |
| | 27-6-2001 | 7.85 | 2 | 74.52 |
| | 30-6-2001 | 9 | 2 | 77.78 |
| | Rata-rata | 6.98 | 1.77 | 73.53 |
| Deterjen | 22-6-2001 | 7.2 | 3.3 | 54.17 |
| | 27-6-2001 | 8.2 | 3.5 | 57.32 |
| | 30-6-2001 | 6.75 | 3.4 | 49.63 |
| | Rata-rata | 7.38 | 3.4 | 53.70 |

Terlihat bahwa di dalam bak biofilter terendam anoksik angka penyisihan terbesar terjadi pada ammonia, yaitu sebesar 73,53 %, sedangkan angka penyisihan terkecil terjadi pada deterjen yaitu 53,70%.

Karena konsentrasi COD, BOD₅, TSS, deterjen, dan ammonia pada bak ini masih ada yang berada di atas baku mutu maka dilakukan proses pengolahan secara aerobik.

Dalam bak biofilter anoksik ini dilakukan sirkulasi yaitu dari efluen bak biofilter aerob disirkulasi kembali ke bak pengendapan awal anoksik. Hal ini dilakukan selain untuk meningkatkan beban hidrolis juga untuk meningkatkan penyisihan BOD karena terjadi peningkatan DO. Pada reaktor gabungan anoksik-aerob kandungan nitrat dari zona aerob akan diturunkan dengan cara disirkulasi ke bak influen anoksik lalu kemudian terjadi proses

denitrifikasi pada zona anoksik. Kecenderungan efisiensi dilampirkan dalam Gambar 9 .



Gambar 9 : Grafik Efisiensi Pengolahan Bak Biofilter Terendam Anoksik

Bentuk persamaan penyisihan massa rata-rata perhari selama waktu pengambilan sampel dilihat dari efisiensi pengolahan pada bak biofilter terendam anoksik adalah sebagai berikut yakni $(S_i - S_e) \text{ g/m}^3 \times Q \text{ air buangan m}^3/\text{hari}$. Jumlah Massa rata-rata yang tersisihkan di dalam bak biofilter tercelup anoksik dapat dilihat pada Tabel 7.

Tabel 7: Jumlah Massa Rata-Rata yang Tersisihkan Di Bak Biofilter Terendam Anoksik

| Parameter | Konsentrasi (gr/m ³) | | Massa Tersisihkan rata-Rata (gr/hari) |
|------------------|----------------------------------|--------|---------------------------------------|
| | Influen | Efluen | |
| COD | 92.67 | 42.67 | 458.25 |
| BOD ₅ | 41.67 | 16 | 235.26 |
| TSS | 33.33 | 11.33 | 201.63 |
| Ammonia | 6.98 | 1.77 | 47.75 |
| Deterjen | 7.38 | 3.4 | 36.48 |

4.4.3 Bak Biofilter Tercelup Aerob

Besarnya efisiensi pengolahan rata-rata yang dihasilkan pada bak biofilter tercelup aerob dalam unit pengolahan ini seperti terlihat pada Tabel 8.

Terlihat bahwa di dalam bak biofilter aerob efisiensi terbesar terjadi pada penyisihan deterjen, yaitu sebesar 81,83%, sedangkan efisiensi terkecil terjadi pada penyisihan TSS yaitu 9,52 %.

TSS mengalami penyisihan terkecil di bak biofilter aerob ini dapat terjadi karena konsentrasi TSS pada inlet bak biofilter aerob kecil, hanya sedikit yang bisa terdegradasi oleh mikroorganisme, tersaring oleh media dan mengalami proses pengendapan.

Tabel 8: Efisiensi Penyisihan COD, BOD₅, TSS, Ammonia, dan Deterjen pada Bak Biofilter Tercelup Aerob saat Jam Puncak

| Parameter | Sampel Tanggal | Konsentrasi (mg/l) | | Penyisihan (%) |
|------------------|----------------|--------------------|--------|----------------|
| | | Influen | Efluen | |
| COD | 22-6-2001 | 36 | 20 | 44.44 |
| | 27-6-2001 | 43 | 22 | 48.84 |
| | 30-6-2001 | 49 | 25 | 48.98 |
| | Rata-rata | 42.67 | 22.33 | 47.42 |
| BOD ₅ | 22-6-2001 | 16 | 8 | 50 |
| | 27-6-2001 | 16 | 9 | 43.75 |
| | 30-6-2001 | 16 | 8 | 50 |
| | Rata-rata | 16 | 8.33 | 47.92 |
| TSS | 22-6-2001 | 10 | 10 | 0 |
| | 27-6-2001 | 10 | 10 | 0 |
| | 30-6-2001 | 14 | 10 | 28.57 |
| | Rata-rata | 11.33 | 10 | 9.52 |
| NH ₃ | 22-6-2001 | 1.3 | 0.3 | 76.92 |
| | 27-6-2001 | 2 | 0.4 | 80 |
| | 30-6-2001 | 2 | 0.4 | 80 |
| | Rata-rata | 1.77 | 0.37 | 78.97 |
| Deterjen | 22-6-2001 | 3.3 | 0.5 | 84.85 |
| | 27-6-2001 | 3.5 | 0.76 | 78.29 |
| | 30-6-2001 | 3.4 | 0.6 | 82.35 |
| | Rata-rata | 3.40 | 0.62 | 81.83 |

Angka penyisihan deterjen terbesar terjadi di bak biofilter aerob selain disebabkan karena proses pendegradasian oleh mikroorganisme aerob, pengurangan kandungan deterjen dalam air limbah di bak biofilter aerob sebagian kecil dapat juga melalui proses flotasi (sebagai efek langsung dari gelembung-gelembung udara yang dituip blower).

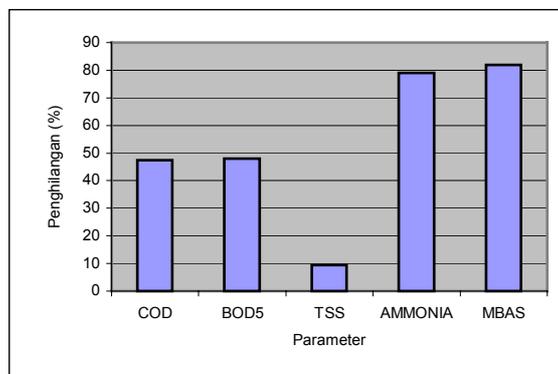
Untuk ammonia mengalami angka penyisihan sebesar 78,97%. Ammonia juga mengalami penyisihan terbesar di bak biofilter aerob. Hal ini menunjukkan bahwa di dalam bak biofilter aerob terjadi proses nitrifikasi. Proses nitrifikasi yang terjadi ini adalah suatu proses perubahan dari NH₄⁺ menjadi NO₂⁻ yang kemudian menjadi NO₃⁻ yang dilakukan oleh bakteri autotropik dan heterotropik. Perubahan NH₄⁺ menjadi NO₂⁻ dilakukan oleh bakteri *nitrosomonas* dan selanjutnya NO₂⁻ yang terbentuk diubah menjadi NO₃⁻ oleh bakteri *nitrobacter*. Kedua jenis bakteri di atas hidup dalam keadaan aerob sehingga memerlukan konsentrasi oksigen yang cukup untuk sumber energi dalam

menunjang proses metabolisme, dan juga proses nitrifikasi merupakan suatu proses aerob sehingga keberadaan oksigen sangat penting dalam proses ini. Selain karena proses nitrifikasi, penyisihan ammonia dapat juga terjadi karena proses sintesa sel pada mikroorganisme.

Di dalam bak biofilter tercelup aerob, suplai oksigen berasal dari blower. Keberadaan blower dalam bak ini sangat membantu dalam hal penurunan kandungan senyawa pencemar dalam air limbah, adanya blower berfungsi sebagai penyuplai oksigen sehingga mikroorganisme aerob dapat tumbuh dan berkembang biak, di samping itu sebagai penghilang bau yang berasal dari proses anaerob di bak pengurai anaerob dan meningkatkan DO pada efluen akhir.

Contoh air yang diambil pada penelitian untuk menghitung efisiensi bak biofilter tercelup aerob sama dengan efluen akhir dari instalasi pengolahan. Bila dibandingkan dengan baku mutu (Kep-58/MENLH/12/1995 tentang Baku Mutu Limbah Cair) dapat dilihat konsentrasi zat pencemar pada efluen akhir berada jauh di bawah ambang batas yang diijinkan, sehingga aman bagi lingkungan.

Efisiensi pengolahan bak biofilter tercelup aerob dapat dilihat pada Gambar 10.



Gambar 10. Efisiensi Pengolahan Bak Biofilter Tercelup Aerob

Efisiensi pengolahan bak biofilter tercelup aerob dapat juga ditinjau dalam bentuk perhitungan massa zat pencemar rata-rata yang tersisihkan perhari selama waktu pengambilan sampel. Massa yang tersisihkan tersebut dapat dihitung dengan persamaan berikut yakni $(S_i - S_e) \text{ g/m}^3 \times Q$ air buangan m^3/hari , dimana $Q = 9,165 \text{ m}^3/\text{hari}$. Hasil perhitungan jumlah masa yang tersisihkan di dalam bak biofilter aerob ditunjukkan pada Tabel 9.

Tabel 9 : Jumlah Massa Rata-Rata yang Tersisihkan Di Bak Biofilter Tercelup Aerob

| Parameter | Konsentrasi (gr/m ³) | | Massa Tersisihkan Rata-Rata (gr/hari) |
|------------------|----------------------------------|--------|---------------------------------------|
| | Influen | Efluen | |
| COD | 42.67 | 22.33 | 186.42 |
| BOD ₅ | 16 | 8.33 | 70.30 |
| TSS | 11.33 | 10 | 12.19 |
| Ammonia | 1.77 | 0.37 | 12.83 |
| Deterjen | 3.40 | 0.62 | 25.48 |

4.5 Pengaruh Fluktuasi Debit Terhadap Total Penghilangan COD, BOD₅, TSS, Ammonia, dan Deterjen pada Unit Pengolahan

Untuk mengetahui pengaruh fluktuasi debit terhadap efisiensi pengolahan limbah rumah sakit dilakukan pengukuran kuantitas dan kualitas air limbah. Pengambilan data dilakukan setiap dua jam selama tiga kali pengukuran.

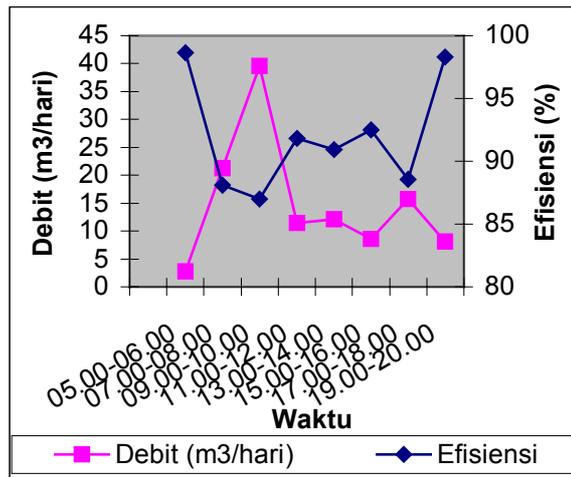
Hasil penelitian menunjukkan bahwa semakin kecil debit yang diikuti oleh besarnya kualitas air limbah akan menghasilkan efisiensi pengolahan yang tinggi. Debit yang kecil membuat waktu kontak yang terjadi antara air limbah dengan mikroorganisme pada lapisan biofilm semakin lama, sehingga kesempatan mikroorganisme mendegradasi senyawa-senyawa yang terkandung dalam air limbah semakin besar.

Grafik hubungan antara fluktuasi debit dengan efisiensi unit pengolahan dapat dilihat pada gambar di bawah ini.

4.5.1 Hubungan Antara Fluktuasi Debit Dengan Penyisihan COD pada Unit Pengolahan

Nilai COD menunjukkan kadar bahan organik yang terdapat di dalam air limbah. Semakin tinggi konsentrasi COD semakin tinggi kadar bahan organik yang terdapat di dalamnya.

Besarnya penyisihan COD yang dihasilkan pada unit pengolahan ini adalah antara 87 % - 98,6 %. Hubungan antara fluktuasi debit dengan penyisihan COD yang terjadi dapat dilihat pada Gambar 11.



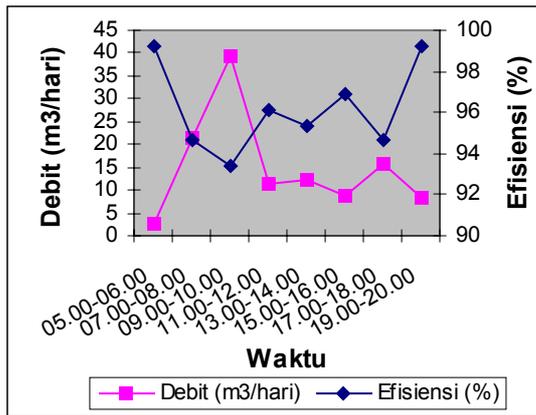
Gambar 11. Hubungan Antara Fluktuasi Debit Dengan Penyisihan COD

Dari Gambar 11 terlihat bahwa penyisihan COD tertinggi terjadi pada pukul 05.00-06.00, berbanding terbalik dengan debit yang terjadi. Tingkat efisiensi paling tinggi terjadi saat debit minimum, sehingga proses degradasi senyawa organik oleh mikroorganisme berlangsung dalam waktu yang cukup lama. Salah satu keuntungan reaktor biofilter tercelup adalah bahwa reaktor ini cukup tahan terhadap fluktuasi debit dan konsentrasi. Beban organik mengalami peningkatan sesuai dengan kegiatan pemakaian air yang terjadi, yaitu pada saat air banyak dipakai untuk kegiatan memasak dan mencuci piring.

4.5.2 Hubungan Antara Fluktuasi Debit Dengan Penyisihan BOD₅ pada Unit Pengolahan

Besarnya penyisihan BOD₅ yang dihasilkan pada unit pengolahan ini adalah antara 93,4 %- 99,3 %, tingginya angka penyisihan BOD₅ ini menunjukkan bahwa sebagian besar senyawa organik yang terkandung dalam air limbah ini dapat didegradasi oleh mikroorganisme. Kecenderungan hubungan antara fluktuasi debit dengan penyisihan BOD₅ yang terjadi dapat dilihat pada Gambar 12. ini.

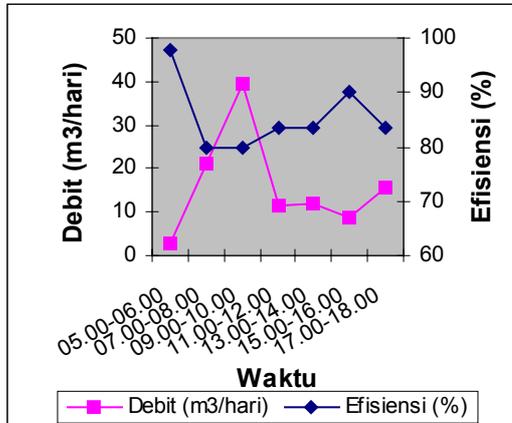
Penyisihan BOD₅ terkecil terjadi pada pukul 09.00-10.00, dimana pada saat itu aliran air paling besar, sehingga waktu tinggal air limbah di dalam unit pengolahan paling pendek.



Gambar 12 : Hubungan Antara Fluktuasi Debit dan Penyisihan BOD₅

4.5.3 Hubungan Antara Fluktuasi Debit Dengan Penyisihan TSS pada Unit Pengolahan

Besarnya penyisihan TSS yang dihasilkan pada unit pengolahan ini adalah antara 80 - 97,8 %, kecenderungan hubungan antara fluktuasi debit dengan penyisihan TSS yang terjadi dapat dilihat pada Gambar 13.

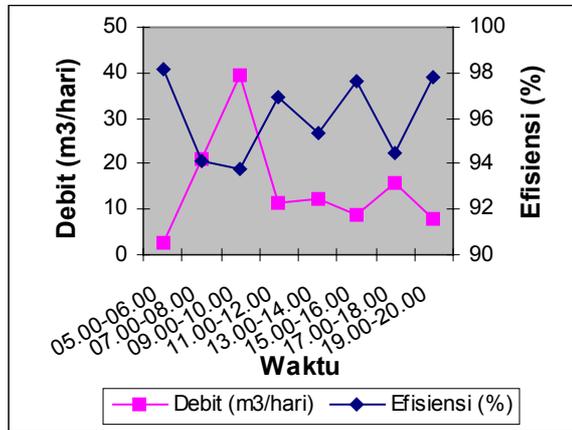


Gambar 13: Hubungan Antara Fluktuasi Debit dan Penyisihan TSS

Penyisihan TSS terkecil terjadi pada pukul 09.00-10.00, dimana pada saat itu aliran air paling besar, sehingga waktu tinggal air limbah di dalam unit pengolahan paling pendek.

4.5.4 Hubungan Antara Fluktuasi Debit Dengan Penyisihan Ammonia Pada Unit Pengolahan

Besarnya penyisihan Ammonia yang dihasilkan pada unit pengolahan ini adalah antara 93,75 %-98,2 %, kecenderungan hubungan antara fluktuasi debit dengan penyisihan Ammonia yang terjadi dapat dilihat pada Gambar 14.



Gambar 14 : Hubungan Fluktuasi Debit dan Penyisihan Ammonia

Penyisihan Ammonia terkecil terjadi pada pukul 09.00-10.00, dimana pada saat itu aliran air paling besar, sehingga waktu tinggal air limbah di dalam unit pengolahan paling pendek.

Proses penyisihan senyawa ammonia pada air buangan ini dapat terjadi secara mikrobiologis melalui proses nitrifikasi hingga menjadi nitrit dan nitrat dengan penambahan oksigen melalui proses aerasi dan dapat juga terjadi karena ammonia digunakan untuk sintesa sel mikroorganisme.

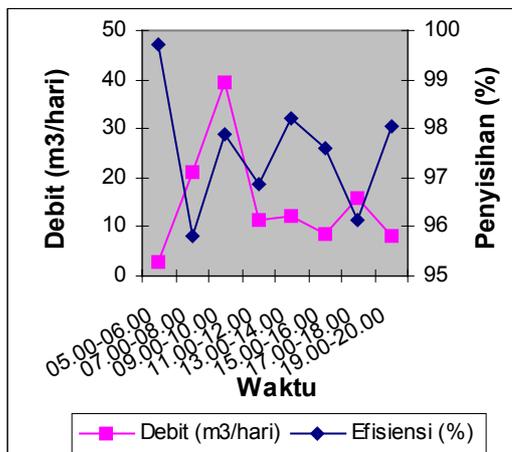
4.5.5 Hubungan Antara Fluktuasi Debit Dengan Penyisihan Deterjen Pada Unit Pengolahan

Hasil penelitian yang didapat memperlihatkan bahwa deterjen yang masuk ke setiap tingkat pengolahan akan mengalami proses penguraian. Hal ini membuktikan bahwa deterjen walaupun termasuk ke dalam golongan bahan organik yang sulit terurai (*refractory organic*) ternyata dapat terurai. Proses penguraian deterjen dapat terjadi secara mikrobiologis, terflotasi, dan terendapkan.

Deterjen bila ditinjau dari susunan molekul pembentuknya terbagi menjadi susunan molekul rantai cabang dan rantai lurus. Deterjen dengan susunan molekul rantai lurus lebih mudah untuk diuraikan oleh mikroorganisme dibandingkan dengan rantai yang bercabang. Pada penelitian ini, susunan

molekul pembentuk deterjen tidak dapat diketahui secara pasti karena harus dilakukan penelitian tersendiri.

Penyisihan deterjen menggunakan *trickling filter* adalah sebesar 92,4 %, *activated sludge* sebesar 94,7 % dan *oxydation ponds* sebesar 91,3 %. Sedangkan penyisihan deterjen yang dihasilkan pada penelitian di unit pengolahan ini adalah antara 95,8%-99,7%. Hubungan antara fluktuasi debit dengan penyisihan deterjen yang terjadi dapat dilihat pada Gambar 15.



Gambar 15 : Hubungan Fluktuasi Debit dan Penyisihan Deterjen

Dari grafik di atas terlihat bahwa angka penyisihan deterjen berbanding terbalik dengan debit yang terjadi, hal ini dikarenakan pada saat debit rendah waktu tinggal air buangan di dalam reaktor mencapai waktu yang lama, sehingga kesempatan mikroorganisme untuk menguraikan deterjen menjadi lebih besar.

Kecuali untuk penyisihan deterjen yang terjadi pada saat jam puncak pukul 09.00-10.00, terlihat bahwa angka penyisihan mengalami peningkatan seiring dengan debit yang terjadi. Hal ini dapat disebabkan karena pada saat itu kegiatan di rumah sakit tersebut banyak menggunakan deterjen (mencuci pakaian dan spreis pasien) sehingga konsentrasi deterjen pun meningkat. Dan peningkatan konsentrasi dan debit tersebut tidak banyak mempengaruhi angka penyisihan yang terjadi karena tingginya kemampuan mikroorganisme dalam reaktor biofilter tersebut untuk mendegradasi deterjen.

Proses penguraian deterjen tersebut dipengaruhi oleh mikroorganisme yang

memegang peranan penting. Mikroorganisme pengurai deterjen dapat dikelompokkan atas 12 genus bakteri diantaranya adalah *Acetobacter*, *Arthrobacter*, *Bacillus*, *Chromobacterium*, *Corynebacterium*, *Eschericia*, *Flavobacterium*, *Mycobacterium*, *Pseudomonas*, *Serratia*, *Streptococcus*, dan *Vibrio*.

4.6 Kondisi Lingkungan Selama Penelitian

Selama penelitian dilakukan pengamatan terhadap kondisi lingkungan yang dapat mempengaruhi proses penguraian zat pencemar pada bioreaktor. Pengamatan terhadap kondisi lingkungan pada bioreaktor meliputi pH dan temperatur.

Data pH pada influen dan efluen instalasi pengolahan air limbah Rumah Sakit Makna selama penelitian berada dalam rentang 7 ± 2 . Pada rentang ini mikroorganisme jenis bakteri sangat dominan dari mikroorganisme lain terhadap proses penguraian zat pencemar dalam bioreaktor. pH lingkungan media sangat mempengaruhi proses pengolahan limbah secara biologis, kisarannya antara 6,5- 8,5. pH yang terlalu tinggi ($> 8,5$) akan menghambat aktivitas mikroorganisme, sedangkan pH di bawah 6,5 akan mengakibatkan pertumbuhan jamur dan terjadi persaingan dengan bakteri dalam metabolisme materi organik.

Temperatur pada influen dan efluen instalasi pengolahan air limbah Rumah Sakit Makna selama penelitian berada pada rentang $26 - 27,3^{\circ}\text{C}$. hal ini menunjukkan mikroorganisme mesofilik mendominasi proses penguraian zat pencemar dalam bioreaktor. Suhu yang ideal antara $25-30^{\circ}\text{C}$, temperatur yang tinggi akan merusak proses dengan mencegah aktivitas enzim dalam sel. Peningkatan temperatur dapat menyebabkan penurunan efisiensi pengolahan.

4.7 Identifikasi Mikroorganisme

Dalam pengolahan biologis, mikroorganisme merupakan faktor yang penting dalam berlangsungnya proses biologis. Identifikasi mikroorganisme pada bioreaktor biakan melekat menggunakan media sarang tawon ini dimaksudkan untuk mengetahui jenis mikroorganisme yang berperan dalam penurunan bahan organik. Hasil identifikasi mikroorganisme utama yang berperan di dalam reaktor biofilter ditunjukkan seperti pada Tabel 10.

Tabel 10 : Identifikasi Mikroorganisme pada

Biofilter tercelup menggunakan Media Sarang Tawon.

| No | Jenis Mikroorganisme |
|----|-------------------------------|
| 1 | <i>Eschericia coli</i> |
| 2 | <i>Basilus subtilus</i> |
| 3 | <i>Staphylococcus aureus</i> |
| 3 | <i>Vibrio comma</i> |
| 4 | <i>Pseudomonas aeruginosa</i> |

Sumber : Analisa di Lab. Mikrobiologi FK Universitas Trisakti

Dari hasil identifikasi mikroorganisme tersebut, pada pertumbuhan melekat bakteri yang paling umum terdapat pada media antara lain adalah *Pseudomonas* dan *Eschericia coli*.

Bakteri pengurai deterjen yang dapat teridentifikasi dalam reaktor biofilter tersebut antara lain *Basilus subtilus*, *Vibrio comma*, *Pseudomonas aeruginosa*, dan *Escherichia coli*.

5. KESIMPULAN DAN SARAN

Dari uraian hasil penelitian tersebut di atas dapat disimpulkan beberapa hal antara lain yakni :

- Hasil analisa karakteristik limbah cair Rumah Sakit Makna mempunyai nilai pH yang masih berada dalam kisaran pH optimum bagi bakteri, yaitu 7 ± 2 . Perbandingan antara BOD/COD adalah 0,688 termasuk dalam kategori limbah yang cukup *biodegradable* sehingga pengolahan secara biologi memberikan berbagai keuntungan dibandingkan secara kimia dan fisika.
- Pada air limbah Rumah Sakit Makna fluktuasi konsentrasi terjadi karena jenis kegiatan pemakaian air dan pengaruh jumlah debit yang terjadi. Debit rata-rata pemakaian air per hari adalah sebesar 9,165 m³/hari, dengan puncak pemakaian air terjadi pada pukul 09.00-10.00 pada saat kegiatan mencuci pakaian, spre, dan peralatan pasien lainnya.
- Pengolahan limbah rumah sakit dengan proses biofilter tercelup menggunakan media sarang tawon cukup tahan terhadap fluktuasi debit dan konsentrasi, terlihat dari tetap tingginya angka penyisihan COD, BOD, TSS, ammonia, dan deterjen. Total efisiensi penghilangan beberapa parameter polutan selama percobaan yakni untuk

COD 87,0 – 98,6 %; BOD₅ 93,4 – 99,3 %; Total padatan tersuspensi (TSS) 80,0 – 97,8 %; Ammonia 93,75 – 98,2 % ; dan Deterjen (MBAS) 95,8 – 99,7%.

- Penyisihan COD dan BOD₅ terbesar terjadi pada bak pengurai anaerob, yaitu masing-masing sebesar 58,81 % dan 63,66 %. Penyisihan TSS terbesar terjadi pada bak biofilter anoksik yaitu sebesar 66 %, penyisihan ammonia terbesar terjadi pada bak biofilter aerob, dan penyisihan deterjen terbesar terjadi pada bak biofilter aerob.

Saran

- Unit ini sebaiknya dapat diterapkan untuk rumah sakit tipe kecil dan menengah dalam menanggulangi masalah pencemaran air limbah. Karena unit ini tidak memerlukan lahan yang luas , mudah dan murah operasinya.
- Sebaiknya dikaji lebih lanjut mengenai kemungkinan air hasil pengolahan dapat dimanfaatkan kembali seperti untuk keperluan menyiram tanaman dan jalan, *fire safety*, dan beberapa kebutuhan lainnya.

DAFTAR PUSAKA

- Alaerts, G, dan S.S Santika (1984). *Metode Penelitian Air*. Surabaya: Penerbit Usaha Nasional.
- Anonim. 1990. *Peraturan Pemerintah Republik Indonesia Nomor 20 Tahun 1990*, Daftar Kriteria Kualitas Air. Tanggal 5 Juni 1990.
- Anonim. 1995. *Surat Keputusan Menteri Negara Lingkungan Hidup, Kep-51/MENKLH/10/1995. Baku Mutu Limbah bagi Kegiatan Rumah Sakit*. Jakarta: Badan Pengendalian Dampak Lingkungan.
- Arvin, E and Herremoes, *Concepts and Models for Biofilm Reactor Performance*, Water Science technology, vol.22, no ½ , pp. 171-192, 1990
- Benefield, Larry D and Randall, Clifford. W.1980. *Biological Processes Design For Wastewater Treatment*. New York: Prentice Hall.
- Casey, T.J. 1997. *Unit Treatment Processing Water and Wastewater Engineering*. Chichester: John Willey and sons.
- Jakarta: USNI
- Direktorat Teknologi Lingkungan Badan Pengkajian dan Penerapan Teknologi. 2000. *Makalah Teknologi Pengolahan*

- Limbah Dengan Proses Biofilter Anaerob-Aerob. Pelatihan Teknologi Limbah Cair.* Jakarta: BPPT.
- Droste, Ronald R. 1997. *Theory and Practice of Wastewater Treatment.* Toronto: John Willey and sons.
 - Eackacai, Solid Waste Minimization, *Case Study: Children's Hospital Bangkok, M.Eng Thesis of Asian institute of Technology, Bangkok, Thailand.*
 - Fair, G.M, Geyer, J.C and Okun, D.A 1968. *Water and Wastewater Engineering, vol.2, Water Purification and Wastewater Treatment and Disposal.* Toronto: John Willey and sons.
 - Grady, C.P.L and Lim, H.C. 1980. *Biological Wastewater Treatment.* New York: Marcel Decker Inc.
 - Henze. 1983. *Anaerobic Treatment of Wastewater in Fixed Bed Reactor.* WS and T vol. 15.
 - Horan, N.J. 1990. *Biological Wastewater Treatment Theory and Application.* England: John Willey and sons.
 - Kandun, I.N, 1998. *Peraturan dan Kebijakan Pengelolaan Limbah Rumah Sakit, Diseminasi Pengelolaan Teknis Limbah Rumah Sakit bagi 10 Dati II di Jawa Barat, Bandung, 3-4 Juni 1998 Indonesia.*
 - Mahida, U.N. 1990. *Pencemaran Air dan Pemanfaatan Limbah Industri.* Jakarta: Rajawali Press.
 - Metcalf and Eddy. 1991. *Wastewater Engineering, Treatment, Disposal, Reuse.* New York: Mc Graw Hill.
 - Mosey, F.E. 1983. *Mathematical Modelling of the Anaerob Digestion Process.* WS and T vol 15.
 - Reynolds, T.D. 1982. *Unit Operations and Processes in Enviromental Engineering.* Boston: B/C Engineering Division.
 - Rittman, B.E and Mc Carty P.L. 2001. *Enviromental Principles and applications.* Boston: Mc Graw Hill.
 - Said, N.I. 2000. *Pengelolaan Air Limbah Dengan Proses Biofilter Anaerob-Aerob.* Jurnal Teknologi Lingkungan Vol 1 No.1/2: Jakarta

RIWAYAT PENULIS

NUSA IDAMAN SAID, lahir di Jombang, 5 Mei 1959. Lulus sarjana Teknik Kimia ITS tahun 1984. Pernah mengikuti Industrial Training ke Kyoto University, Jepang untuk bidang "Perencanaan Fasilitas Pengolahan Air Minum dan Air Limbah" (1987-1988). Menyelesaikan program Master untuk bidang "Environmental and Sanitary Engineering" di Kyoto University, Jepang pada tahun 1995. Saat ini menjabat sebagai Ketua Kelompok Teknologi Pengelolaan Air Bersih dan Limbah Cair, Pusat Pengkajian Dan Penerapan Teknologi Lingkungan, Badan Pengkajian dan Penerapan Teknologi (BPPT). Jabatan fungsional peneliti saat ini adalah peneliti madya di bidang teknologi pengelolaan air dan lingkungan.

LAMPIRAN



Unit pengolahan air limbah rumah sakit dengan proses Biofilter Anaerob-Aerob. Lapisan mikroorganisme yang telah tumbuh dan menempel pada permukaan media biofilter. Air limbah sebelum diolah dan air hasil olahan.