

MSG WASTE BIOMASS CONCENTRATION ON MEMBRANE BIOREACTOR SUBMERGED

Yustia Wulandari M*, Agung Rasmito, Jenny Caroline

Jurusan Teknik Kimia, Fakultas Teknologi Industri, ITATS

Jl. Arif Rachman Hakim 100 Surabaya

yw_mirza@yahoo.com*

ABSTRACT

The combination of submerged membrane bioreactor (BRMt) and activated sludge is one alternative that can provide a solution. The purpose of this study was to determine the effect of organic load on the performance of the combination of activated sludge and membrane submerged, know the effect of microorganism concentration on the performance of the combination of activated sludge and membrane submerged. Membrane bioreactor Awash (BRMt) used has concentration of biomass to be used is 15,000 mg / L, 20,000 mg / L and 25,000 mg / L, and COD concentration of MSG wastewater used was 10,000 mg / L and 15,000 mg / L. COD load successfully diremove average for each variation of the COD load of up to 98%. In wastewater treatment using membrane processes, fouling is one of the obstacles that can interfere with the performance of submerged membrane bioreactor, so that by the backflushing and backwash is to help improve the performance of membrane separation process in the processing of the waste. This is indicated by the analysis results that meet the standard of quality standards based on the Liquid Waste Kep. Gub No.45 of 2002.

Keywords: wastewater, waste MSG, submerged membrane bioreactor, hollow fiber, waste management

PENDAHULUAN

Proses lumpur aktif merupakan proses pengolahan biologi yang secara luas telah banyak diaplikasikan untuk mengolah limbah cair. Dalam instalasi pengolahan limbah cair, bangunan lumpur aktif diikuti oleh bangunan clarifier. Bangunan clarifier berfungsi untuk memisahkan bioflok mikroorganisme dengan cara mengendapkan. Selain itu proses lumpur aktif kadang kala menunjukkan kinerja yang tidak sesuai harapan. Hal ini terjadi, manakala terjadi fluktuasi limbah cair baik kuantitas maupun kuantitas. Fluktuasi tersebut menghasilkan *shock loading* bagi lumpur aktif baik *hydraulic loading* maupun *organik loading*, yang akan berpengaruh terhadap rasio F/M (Food : Mikroorganisme) dalam bioreaktor. Adanya pergeseran rasio F/M akan mempengaruhi mikroorganisme dominan, selanjutnya mempengaruhi karakteristik bioflok. Bila karakteristik bioflok

berubah, maka pengendapan bioflok pada clarifier tidak dapat optimal, sehingga kualitas effluent pengolahan tidak memenuhi persyaratan yang diharapkan.

Pada proses pengolahan lumpur aktif konvensional umumnya menggunakan konsentrasi MLSS (Mixed Liquor Suspended Solids) antara 2.000 – 3.500 mg/L. Nilai tersebut bukan merupakan nilai MLSS optimal, melainkan disebabkan oleh nilai maksimum yang dapat diolah secara gravitasi pada pemisahan padatan atau cairan pada tangki clarifier yang menyertai proses lumpur aktif. Clarifier tak dapat dipisahkan dari proses lumpur aktif, karena berperan dalam menghasilkan efluen yang berkualitas melalui mekanisme pengendapan serta berpengaruh pada perilaku proses biologi.

Teknologi pemisahan menggunakan membran menawarkan alternatif yang menarik pada pemisahan padatan atau cairan

karena memungkinkan menahan atau menyaring 100% biomassa, sehingga tangki aerasi dapat bekerja pada konsentrasi MLSS yang lebih tinggi. Penggunaan membran untuk memisahkan padatan bila dibandingkan clarifier dapat mengeliminasi persoalan pemisahan padatan pada proses lumpur aktif konvensional, seperti rendahnya laju pengendapan disebabkan konsentrasi MLSS yang tinggi, filamentous bulking, pertumbuhan filamen, serta pinpoint floc.

Proses pengolahan limbah cair dengan bioreaktor membran terendam, mempunyai banyak keuntungan dibandingkan pengolahan limbah dengan proses membran yang lain. Hal ini dilihat dari sisi efektifitas dan efisiensi dari proses itu sendiri yang lebih sederhana dan otomatis biaya operasinya juga jauh lebih kecil dengan hasil yang lebih baik. Secara teoritis, pengolahan kombinasi lumpur aktif dan membran terendam akan menghasilkan kinerja pengolahan yang lebih baik dibandingkan lumpur aktif konvensional (lumpur aktif dan clarifier). Hal ini karena kemampuan filtrasi dari membran tidak dipengaruhi oleh karakteristik bioflok yang terbentuk.

Penelitian ini mencoba mengembangkan modifikasi pengolahan lumpur aktif yang lebih kompak dari segi konstruksi bangunan melalui konfigurasi tertentu. Yaitu dengan ditiadakannya bangunan clarifier setelah bangunan lumpur aktif. Sebagai pengganti clarifier digunakan membran yang dipasang terendam dalam bioreaktor lumpur aktif. Dengan adanya modifikasi tersebut maka penelitian ini mencoba mengeksplorasi faktor-faktor yang mempengaruhi kombinasi lumpur aktif dan membran terendam. Dengan mencoba beberapa variabel akan diketahui apakah kombinasi lumpur aktif dan membran terendam ini cukup andal dan mampu mengatasi permasalahan yang sering muncul dalam pengolahan lumpur aktif biasa.

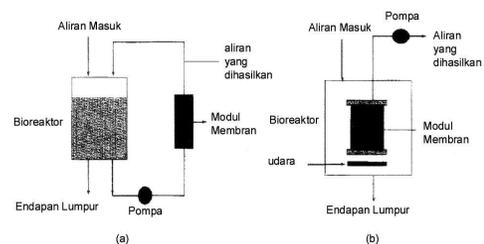
Teknologi membran mempunyai peranan penting untuk mengatasi berbagai persoalan seperti pada pemisahan biokatalis, pemisahan produk, efek inhibisi produk, dan tingkat konversi yang relative rendah. Pemanfaatan teknologi membran dalam proses biokatalitik disebut juga sebagai bioreaktor membran. Potensi aplikasi bioreaktor membran sangat besar karena memiliki beberapa keunggulan dibandingkan dengan bio-reaktor konvensional, antara lain:

- a) beroperasi pada kondisi lunak;
- b) tidak melibatkan perubahan fasa;
- c) bersifat modular dan mampat; dan
- d) harga membran cenderung turun.

Bioreaktor membran merupakan suatu alat dari membran yang berfungsi sebagai reaktor dan pemisah, dimana reaksi yang berlangsung biasanya dikatalisis oleh enzim yang dimobilisasi pada matriks membran. Membran bioreaktor menunjukkan beberapa kelebihan seperti kualitas efluen stabil, beban volumetric tinggi dan produksi lumpur rendah.

Berdasarkan fungsinya, bioreaktor membran dikelompokkan menjadi dua jenis. Pertama, membran merupakan bagian integral dari bioreaktor yang berfungsi sebagai unit pemisahan biokatalis dan/atau substrat dan produk. Tipe yang banyak digunakan dalam aplikasinya adalah membran ultrafiltrasi dan mikrofiltrasi. Kedua, membran berfungsi sebagai reaktor dan separator sekaligus yang memungkinkan pemisahan enzim, substrat, dan produk secara *in situ*. Masalah utama yang sering dijumpai dalam proses filtrasi membran adalah polarisasi konsentrasi dan *fouling* yang menyebabkan penurunan kinerja membran secara drastis.

Berdasarkan karakteristik permeasi substrat, bioreaktor membran dapat diklasifikasikan menjadi dua (*Fane dan Chang, 2002*), yaitu (a) bioreaktor untuk substrat dengan berat molekul rendah, dan (b) bioreaktor untuk substrat dengan berat molekul tinggi. Tipe (a) substrat dan produk dapat melewati pori-pori membran dengan bebas, sedangkan pada tipe (b) substrat tidak permeabel tetapi produk permeabel.



Gambar 1. Skema dari sistem bioreaktor (a) membran eksternal re-sirkulasi dan (b) membran terendam (*submerged*)

Membran bioreaktor terdiri dari activated sludge dan mikrofiltrasi crossflow. Berdasarkan susunannya terdapat dua jenis, yaitu:

- a) Membran bioreaktor dengan membran eksternal. Membran untuk memisahkan air yang telah diolah dari lumpur (bioflok), terletak di luar tangki aerasi. Konsentrat yang terkumpul dialirkan kembali ke dalam tangki lumpur aktif.
- b) Membrane bioreactors dengan membran terendam internal. Pemisahan oleh membran berlangsung dalam tangki lumpur aktif sehingga tidak diperlukan recycle konsentrat. Pada praktek, membran terendam kadang diletakkan dalam tangki terpisah.

Membran dalam bioreaktor dapat dikelompokkan dalam desain bioreaktor membran (BRM) air limbah melalui dua sistem, yaitu secara resirkulasi eksternal atau membran terendam (BRMt) seperti ditunjukkan pada gambar di atas.

Berdasarkan karakteristik air limbah, baik limbah industri maupun limbah domestik/limbah kota, cara yang paling efektif dan efisien untuk pengolahannya adalah dengan menerapkan proses membran dalam sebuah bioreaktor.

Sistem BRMt mempunyai kecenderungan besar digunakan dalam mendesain BRM karena dianggap potensial untuk fabrikasi dan biaya perawatannya rendah. Hal penting dalam sistem BRMt adalah kemampuan penyerapan permeat yang dibantu oleh tekanan dari bioreaktor itu sendiri yang berasal dari gelembung udara yang digunakan sebagai kontrol deposisi pada metode mekanika fluida dan pencemaran (Fane dan Chang, 2002).

Proses pengolahan limbah cair dengan BRMt, mempunyai banyak keuntungan dibandingkan pengolahan limbah dengan proses membran yang lain. Hal ini dilihat dari sisi efektifitas dan efisiensi dari proses itu sendiri yang lebih sederhana dan otomatis biaya operasinya juga jauh lebih kecil dengan hasil yang lebih baik.

Yamamoto, dkk (1989), meneliti tentang pemisahan langsung padat cair dengan menggunakan membran hollow fiber pada perlakuan air limbah yang menggunakan lumpur aktif. Modul membran yang digunakan mempunyai ukuran pori 0,1 mikron yang dicelupkan langsung ke dalam bak aerasi (sebagai BRMt). Air limbah yang

digunakan adalah air limbah sintesis yang terdiri dari glukosa dan peptone dalam air. Variasi operasi dilakukan untuk menyelidiki kondisi fluks yang stabil guna penyisihan bahan organik dan nitrogen. Perlakuan yang stabil pada HRT 4 jam dapat dijaga selama 120 hari. Operasi dilakukan pada pembebanan organik volumetris 1,5 kg COD/(m³.hari) dan menggunakan penyedotan umpan membran secara intermitten pada tekanan rendah (13 kPa). Penyisihan COD yang diperoleh lebih dari 95%. Pembebanan organik kritis diperoleh antara 3-4 kgCOD/(m³.hari) untuk bisa menjaga fluks dan kondisi aerobik yang stabil. Penyedotan umpan membran secara intermitten dan tekanan operasi yang rendah tanpa pencucian dapat mengurangi fouling.

Penelitian BRMt dengan menggunakan modul lembaran datar (*flat*) yang telah dilakukan oleh Jin Kie Shim, dkk (2002), untuk pengolahan limbah cair, memberikan kesimpulan bahwa dengan desain BRMt yang tepat dapat memberikan hasil yang sangat efektif dan efisien untuk menurunkan kadar COD dan N₂ dengan konsentrasi tinggi dari senyawa-senyawa organik yang terdapat di dalam limbah cair tersebut. Pembersihan membran dengan bahan kimia memberikan hasil yang sangat baik, tetapi masih perlu dikaji lebih lanjut untuk mendapatkan waktu yang lebih singkat.

Pierre Côté, dkk. (1997), menggunakan BRMt untuk mengolah limbah domestik, dan membandingkannya dengan BRM eksternal dan konvensional. Pada BRMt diaplikasikan sistem sirkulasi udara yang berfungsi sebagai aerasi sekaligus dapat membersihkan membran dari dasar modul, sehingga mempunyai fungsi ganda selama operasi. Hasilnya menunjukkan bahwa tanpa pembersihan secara kimia, membran yang digunakan dapat beroperasi lebih lama dan memberikan keuntungan dalam hal kualitas, keamanan, dan kekompakan. Keunggulan lainnya adalah dapat menghilangkan senyawa nitrogen, meminimalkan *fouling*, dan mereduksi produksi *sludge* hingga 50% dibandingkan dengan cara konvensional.

Suing-il Choi, dkk. (2003), menggunakan plate membran ukuran 0,45m x 0,44m dengan pori 0,4 µm dalam penelitiannya untuk mengetahui pengaruh partikel pada operasi membran. Sistem beroperasi dengan tekanan penyedotan umpan 0,5 kg/cm² dan 1 kg/cm². Fluks nominal 25 l/m².jam dalam bioreaktor

berdimensi 0,45m x 0,2m x 0,8m; flow udara 1 m³/m².jam untuk mengolah air dengan turbidity 3 NTU dan 50 NTU. Tekanan penyedotan dijaga 0,1 dan 0,3 kg/cm² dengan aliran *dead-end*. Hasil penelitian diperoleh partikel dengan ukuran 10 µm menempel di permukaan membran dan mudah dibersihkan dengan cara *backwash*, sedangkan partikel ukuran < 2 µm tetap berada dalam pori membran. Namun demikian partikel tersebut membantu pembersihan membran saat dilakukan *backwash*. Hal ini terlihat pada awal operasi fluks mencapai 58 l/m².jam dengan tekanan pe-nyedotan 0,1 kg/cm² dan setelah 1 jam fluks turun sampai 45 l/m².jam dengan tekanan penyedotan 0,25 kg/cm².

Komponen biologi dari sistem lumpur aktif merupakan kumpulan mikroorganisme. Komposisi mikroorganisme 70 – 90 % materi organik dan 10 – 30 % materi anorganik. Penyusun sel dipengaruhi komposisi kimia limbah cair dan karakteristik spesifik mikroorganisme.

Bakteria, fungi, protozoa, dan rotifera merupakan penyusun komponen biologi atau massa biologi (biomassa) dari activated sludge. Kadangkala terdapat beberapa metazoa, seperti cacing nematoda. meskipun agitasi konstan dalam tangki aerasi dan resirkulasi lumpur menghambat pertumbuhan organisme yang lebih tinggi. Jenis mikroorganisme yang dominan dalam satu sistem dipengaruhi kondisi lingkungan, desain proses dan operasi pengolahan serta karakteristik influen limbah cairnya.

Mikroorganisme yang sangat penting dalam lumpur aktif adalah bakteri, yang berada sebagai individu dari ukuran satu mikron hingga berbentuk koloni. Beberapa bakteri bersifat aerob sebagai lainnya bersifat anaerob. Sebagian bakteri lumpur aktif adalah fakultatif yaitu mampu hidup dengan atau tanpa oksigen. Baik bakteri heterotrof maupun autotrof berada dalam activated sludge. Bakteri heterotrof mendapatkan energi dari materi organik pada aliran influen limbah cair untuk mensintesis sel-sel baru. Pada saat yang sama, bakteri melepaskan energi melalui penguraian materi organik menjadi karbondioksida dan air. Jenis bakteri heterotrof termasuk: *Achromobacter*, *Alcaligenes*, *Arthrobacter*, *Citromonas*, *Flavobacterium*, *Pseudomonas*, dan *Zoogloea*. Bakteri autototrof dalam lumpur aktif mengoksidasi senyawa karbon seperti karbon dioksida untuk pertumbuhan sel,

serta mendapatkan energi dengan mengoksidasi ammoniak menjadi nitrat dalam dua tahap atau nitrifikasi.

Bakteri yang berperan pada nitrifikasi dalam lumpur aktif adalah *Nitrobacter* dan *Nitrosomonas*. Nitrifikasi umumnya terjadi bila waktu tinggal lumpur dalam sistem lama. Semakin lama waktu tinggal lumpur, semakin banyak populasi bakteri nitrifikasi. Kebutuhan oksigen terlarut proses nitrifikasi tinggi, sehingga kebutuhan oksigen terlarut dalam sistem meningkat. pH optimum nitrifikasi 8 – 9.

Fungi adalah organisme multisel yang melakukan metabolisme senyawa organik dan bersaing dengan bakteri pada kondisi lingkungan tertentu. Fungi utama dalam limbah cair adalah *Sphaerotilus natans* dan *Zoogloea sp.*

Protozoa adalah organisme sel tunggal. Protozoa bercilia merupakan jenis paling umum dalam lumpur aktif, namun juga terdapat protozoa berflagela dan amuba. Protozoa bersilia yang umum ditemukan dalam proses pengolahan limbah cair adalah : *Aspidisca costata*, *Carchesium polypinum*, *Chilodonella uncinata*, *Opercularia coarcta* dan *O. microdiscum*, *Trachelophyllum pusillum*, *Vorticella convallaria* and *V. microstoma*. Protozoa merupakan indikator biologi kondisi lumpur aktif. Keberadaan organisme ini merupakan indikator kondisi aerob (meskipun beberapa protozoa dapat bertahan hidup lebih dari 12 jam tanpa oksigen). Protozoa juga bertindak sebagai indikator kondisi toksik, karena protozoa lebih sensitif terhadap toksisitas dibandingkan bakteri.

Rotifera adalah organisme multisel. Rotifera mampu mengkonsumsi mikroba dan materi partikulat. Rotifera mikroorganisme aerob dan lebih sensitif terhadap toksisitas dibanding bakteri. Rotifera hanya terdapat dalam lumpur aktif yang sangat stabil.

Pada umumnya organisme dan lumpur aktif dibedakan dalam empat kelas yaitu:

1. Organisme pembentuk flok (*flock forming organism*) Organisme pembentuk flok termasuk organisme yang berperan penting dalam proses lumpur aktif. Tanpa organisme tersebut, lumpur tidak dapat dipisahkan dari air limbah yang telah diolah.
2. Saprofit
Saprofit, merupakan organisme pende-gradasi bahan-bahan organik yang sebagian besar berupa bakteri. Ada dua

macam saprofit, yaitu primer dan sekunder. Saprofit primer bertugas untuk mendegradasi substrat awal (substrat yang belum didegradasi), sedangkan saprofit sekunder yang bertugas memakan hasil degradasi dari saprofit primer.

3. Predator

Dalam lumpur aktif, yang merupakan komunitas predator adalah protozoa. Dan menjadikannya bakteri sebagai makanannya. Ada kemungkinan bahwa protozoa dapat terlibat dalam pembentukan flok lumpur dan menyebabkan tidak adanya bakteri terdispersi sehingga membantu proses pengendapan dalam lumpur aktif.

Membran adalah lapisan tipis, semi permeable dengan ketebalan sekitar 0,1-0,5 mm. Lapisan terikat pada matrik pendukung untuk meningkatkan stabilitasnya. Untuk mencegah penyumbatan (*clogging*) membran umumnya membran disusun secara asimetris dimana lapisan yang terdiri dari material berbeda dibentuk menjadi membran komposit. Filtrat, juga disebut *permeate*, adalah materi yang berhasil melewati membran. Partikel dan molekul yang tertahan oleh membran disebut *retentat*, jenisnya tergantung pada berat dan ukuran molekul.

Suatu "membran" juga dapat didefinisikan sebagai suatu fase yang bertindak sebagai peng-halang terhadap aliran molekul atau ion antara fase-fase yang memisahkan. Fase membran umumnya heterogen, baik padat kering, solvent-swollen gel, atau suatu cairan yang telah diimmobilisasi. Agar dapat digunakan sebagai peralihan pemisah, suatu membran harus melewatkan beberapa moleku lebih cepat daripada molekul yang lain. Sehingga suatu membran harus memiliki permeabilitas yang tinggi untuk jenis tertentu dan permeabilitas rendah untuk jenis lain.

Beberapa variabel yang perlu untuk mengendalikan proses Lumpur Aktif adalah :

a. *Mixed Liquor Suspended Solids (MLSS)*

Secara umum MLSS digunakan untuk mengendalikan proses yaitu untuk mengukur biomassa. Nilai MLSS berkisar antara 800 – 1.500 mg/L untuk extended aeration dan low rate systems, sedangkan pada high-rate sistem sekitar 8.000 mg/l atau lebih. Semakin tinggi efisiensi pengolahan

dapat dicapai oleh MLSS yang tinggi, karena semakin banyak mikroorganisme dalam mixed liquor semakin cepat penyisihan BOD. Meskipun konsentrasi MLSS yang tinggi menciptakan masalah pada aerasi dan pengendapan lumpur dalam clarifier.

b. *Hydraulic Retention Time (HRT) atau Beban volumetrik*

Hydraulic retention time merupakan waktu rata-rata influen dalam tangki aerasi. Dapat dihitung dengan persamaan :

$$HRT = \frac{V}{Q} \times 24 \text{ jam} \dots\dots\dots 1$$

Dimana :

V = volume tangki aerasi (m³)

Q = debit influen (m³/hari)

Semakin tinggi debit influen, semakin cepat aliran influen menuju outlet yang berarti semakin rendah waktu tinggal (recidence time) atau hydraulic retention. HRT seharusnya cukup lama untuk memungkinkan penyisihan BOD. Pada sistem lumpur aktif konvensional HRT antara 5 – 14 jam.

c. *Sludge Residence Time atau Sludge Age*

Sludge age adalah waktu tinggal rata-rata mikroorganisme dalam sistem. Dapat dihitung dengan persamaan :

$$SRT = \frac{V_r \cdot X}{Q_w \cdot X_w + Q_e \cdot X_e} \dots\dots\dots 2$$

Dimana :

V_r = volume tangki aerasi (m³)

X = MLSS dalam tangki aerasi (mg/L)

Q_w = debit lumpur yang dibuang (m³/hari)

X_w = MLSS yang dibuang (mg/L)

Q_e = debit efluen (m³/hari)

X_e = partikulat dalam efluen (mg/L)

Pada perhitungan diatas MLSS dalam RAS (return activated sludge) tidak termasuk dalam perhitungan. Pada kondisi steady state, denominator sebanding dengan produksi lumpur setiap hari. Bila nilainya besar, sebagai akibat pertumbuhan cepat lumpur aktif, maka umur lumpur akan rendah. Sebaliknya bila pertumbuhan lumpur yang diperoduksi rendah (misalnya dengan penggunaan F?M sangat

rendah), maka rata-rata umur lumpur dalam sistem meningkat, sehingga perlu recycle beberapa kali.

Nilai umur lumpur bervariasi dari < 0,5 hari (pada high-rate system) hingga 75 hari padalow-rate systems seperti extended aeration systems. Pada pengolahan kon-vensional, SRT umumnya memiliki nilai 3 – 4 hari. Pengendapan lumpur dihubungkan dengan SRT. Nilai SRT yang rendah diasosiasikan dengan lumpur yang sulit terflokulasi dan memiliki karakteristik pengendapan yang jelek.

d. Sludge Loading atau Rasio F/M

Laju pertumbuhan biomassa dan laju respirasi meningkat dengan peningkatan BOD loading. Meskipun laju penyisihan BOD dalam tangki aerasi juga dihubungkan dengan lumpur biomassa. Semakin banyak biomassa, semakin tinggi laju penyisihan BOD. Untuk mengukur kebutuhan makanan bagi biomassa makan BOD dibagi dengan MLSS menghasilkan nilai perbandingan F/M (Food/Microorganism) atau juga disebut sludge loading. Peningkatan F/M meningkatkan laju penyisihan BOD, laju pertumbuhan dan laju respirasi. Persamaannya adalah :

$$\frac{F}{M} = \frac{BOD \times Q}{X \times V} \dots\dots\dots 3$$

Dimana :

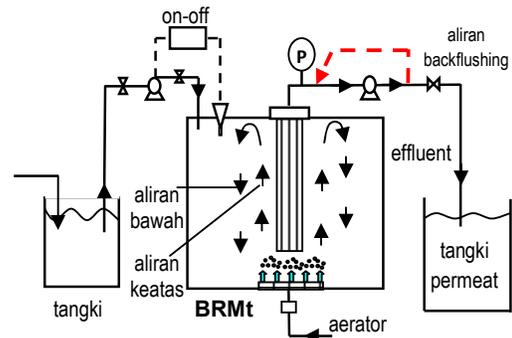
- BOD = kadar material organik (gr/L)
- Q = debit (m³/L)
- X = MLSS (gr/L)
- V = volume tangki (m³)

Tabel 1. Beberapa perbandingan variabel proses :

Laju pengolahan	HRT (jam)	Umur lumpur (hari)	Beban lumpur (F/M) (kg BOD/kg MLSS/hari)	Produksi lumpur (kg lumpu r/kg BOD yang disisihkan)
Konvensional	5 – 14	3 – 4	0,2 – 0,5	0,5 – 0,8
High-rate	1 – 2	0,2 – 0,5	> 1,0	0,8 – 1,0
Low-rate	24 - 72	> 5 - 6	< 0,1	< 0,4

METODE PENELITIAN

Penelitian mengenai pengolahan limbah cair menggunakan kombinasi proses lumpur aktif dengan membran terendam ini menggunakan satu unit reaktor biologis lumpur aktif dimana proses separasi membran juga terjadi didalamnya. Volume operasi reaktor adalah 12 liter. Bioreaktor tersebut juga dilengkapi dengan diffuser yang berfungsi sebagai pensuspensi oksigen serta dapat juga berfungsi untuk memperkecil fouling. Sedangkan untuk tangki influent dan tangki effluent (permeat), dibuat terpisah menggunakan tangki tersendiri. Hal serupa juga berlaku untuk tangki pembibitan aklimatisasi yang dibuat dengan tangki tersendiri. Sedangkan untuk influent, menggunakan limbah sintetik dengan konsentrasi COD yang bervariasi.



Gambar 2. Diagram Skematik Kombinasi Proses *Activated Sludge* dengan Bioreaktor Membran Terendam (BRMt)

Variabel yang digunakan pada penelitian ini adalah sebagai berikut :

- Konsentrasi Mikroorganisme (MLSS) : 15.000; 20.000 dan 25.000 mg/l
- Beban Organik (Konsentrasi COD) : 10.000 dan 15.000 mg/l

HASIL DAN PEMBAHASAN

Lumpur aktif yang digunakan adalah lumpur yang berasal dari Instalansi Pengolahan Limbah Tinja (IPLT) Sukulilo Surabaya. Pengambilan lumpur berasal dari bak clarifier (20 lt) dan oxidation ditch (20 lt). Sebelum melakukan pembibitan dan aklimatisasi, lumpur aktif tersebut dianalisa lebih dahulu untuk mengetahui kondisi awal sebelum digunakan. Lumpur aktif tersebut

memiliki pH = 8 dan suhu = ± 24 – 26 °C. Analisa awal lumpur aktif IPLT Sukolilo Surabaya adalah seperti pada tabel 1.

Pembiakan kultur atau mikroorganisme dilakukan dalam dua buah tangki aerasi dengan volume masing-masing 40 liter dengan suhu kamar dan pH netral serta suplay oksigen (*Dissolved Oxygen-DO*) yang cukup yaitu sekitar ± 2 mg/l. Selain suhu, pH serta DO, F/M ratio juga menjadi salah satu parameter untuk mengetahui bahwa lumpur aktif dalam kondisi yang baik. Mikroorganisme yang berkembangbiak dalam kondisi yang seimbang dengan jumlah nutrient yang diberikan

Sedangkan untuk F/M ratio tergantung pada konsentrasi biomassa dan pemberian substrat, selain itu F/M ratio juga dapat dikendalikan dengan laju pembuangan lumpur yang berbanding terbalik dengan *Hydraulic Retention Time (HRT)*. Keadaan demikian dipertahankan agar mikroorganisme dapat berkembangbiak dengan baik.

Pada tahap pembibitan dilakukan penambahan substrat, yaitu glukosa serta NPK dengan perbandingan yang sesuai. Adanya pemberian tersebut dimaksudkan guna memenuhi kebutuhan karbon dan energi yang dibutuhkan dalam metabolisme sel atau pertumbuhan biomassa. Perbandingan pemberian glukosa:NPK adalah 10:1. Penetapan perbandingan tersebut telah disesuaikan dengan volume tangki dan kebutuhan konsentrasi yang akan digunakan dalam penelitian ini. Dan diharapkan jumlah tersebut dapat memenuhi kebutuhan perkembangan mikroorganisme yang terkandung dalam lumpur aktif. Penambahan nutrien yang dimaksud adalah nitrogen dan fosfor serta unsur-unsur lain yang termasuk didalam *micronutrient*. Unsur nitrogen dan kebutuhan unsur fosfor berasal dari *NPK*. Perbandingan kebutuhan nutrien dan glukosa, C:N:P untuk pertumbuhan biomassa.

Tabel 2. Karakteristik lumpur aktif (Oxidation Ditch) di IPLT Sukolilo Surabaya

Parameter Lumpur aktif	Konsentrasi (mg/L)
MLSS	11.880
MLVSS	6.040
COD	710
BOD	285
TSS	5270,16

Sumber : Hasil analisa sampel awal massa pada lumpur aktif minimum adalah 100:5:1.

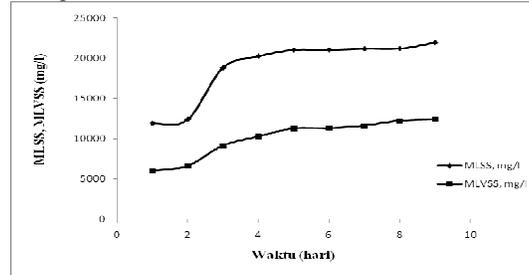
Perkembangbiakan mikroorganisme dapat dilihat berdasarkan konsentrasi biomassa (*Mixed Liquor Suspended Solid - MLSS*). Jika konsen-trasi MLSS telah mencapai ± 20.000 mg/l, secara perlahan-lahan mengurangi konsentrasi glukosa diiringi dengan proses aklimatisasi. Aklimatisasi merupakan proses adaptasi mikroorganisme de-ngan limbah sintetis yang mana dalam penelitian ini digunakan sebagai influent dengan cara mengganti seluruh volume supernatant. Dengan demikian mikroorganisme yang terkandung dalam lumpur aktif telah teraklimatisasi sehingga dapat mendegradasi limbah sintetis. Pada proses aklimatisasi, pemberian glukosa dan nutrient dihentikan dan diganti dengan limbah sintetis.

Gambar 3 menunjukkan bahwa pembibitan dilakukan selama 9 hari untuk memperoleh konsentrasi MLSS yang sesuai dengan keperluan penelitian ini. Kemudian dilanjutkan dengan proses aklimatisasi yang membutuhkan waktu 30 hari selama penelitian ini berlangsung hingga akhir. Dengan demikian diharapkan, selama proses penelitian utama berlangsung maka lumpur yang digunakan selalu dalam kondisi yang baik. Proses perkembangbiakan mikroorganisme pada proses aklimatisasi ditunjukkan oleh gambar 4. Dalam proses pembibitan maupun aklimatisasi, sering terjadi penurunan konsentrasi MLSS ataupun MLVSS dimana penurunan tersebut dimungkinkan adanya mikroorganisme dalam lumpur aktif tersebut ada yang mati dan terikut bersama supernatan yang terganti dengan limbah sintetis. Aklimatisasi terus dilakukan hingga seluruh supernatan terganti dengan limbah sintetis, hal tersebut seiring dengan meningkatnya konsentrasi MLSS. Selain konsentrasi MLSS, konsentrasi MLVSS juga dilakukan analisa dalam tahap pembibitan dan aklimatisasi. Pengamatan konsentrasi MLVSS dilakukan untuk mengetahui senyawa inorganik yang terkandung dalam lumpur aktif tersebut. Analisa MLVSS dilakukan dengan pemanasan dan pengeringan hasil MLSS pada suhu 550°C. Dengan dilakukannya pemanasan tersebut maka bagian yang terbakar habis dinyatakan sebagai zat padat ter-suspensi organik dan residu yang tersisa disebut sebagai zat padat

tersuspensi inorganik. Sedangkan yang ditimbang adalah zat padat anorganik.

Berikut ini gambar pertumbuhan mikroorganisme, dapat diamati melalui grafik pembibitan:

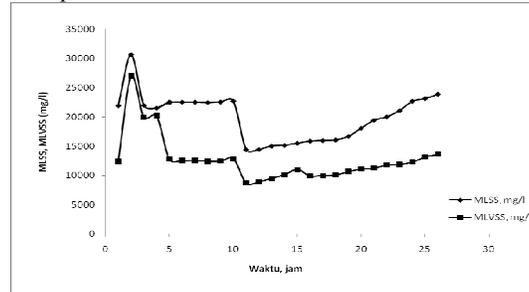
Tahap Pembibitan:



Gambar 3. Pengamatan MLSS terhadap penambahan substrat selama pembibitan

Sedangkan berikut ini adalah gambar pertumbuhan mikroorganisme, selama proses aklimatisasi:

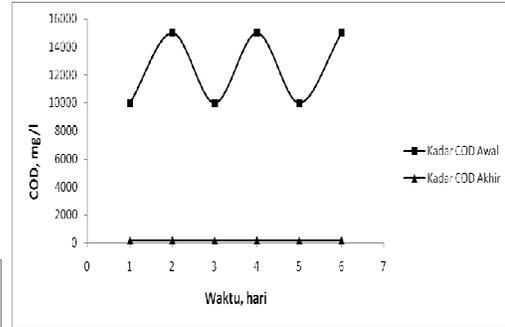
Tahap Aklimatisasi:



Gambar 4. Pengamatan MLSS dan MLVSS terhadap penambahan substrat dan limbah sintetis selama aklimatisasi

Reaktor MBRT dioperasikan pada volume efektif 12 liter dengan debit aliran dari reaktor umpan menuju bioreaktor sebesar 1,42 liter/jam. Sedangkan aliran efluen dari bioreaktor menuju reaktor efluen diupayakan seimbang dengan debit influen.

Berdasarkan hasil analisa, bahwa pengolahan limbah cair berasal dari limbah pabrik MSG dengan menggunakan Bioreaktor membran terendam yang dikombinasi dengan lumpur aktif dapat menghasilkan removal COD sebesar 98%.



Gambar 5. Pengamatan hasil removal COD

Dengan demikian proses biologis dengan lumpur aktif yang menggunakan bantuan mikroorganisme yang dikombinasi dengan proses filtrasi yang menggunakan membran ultrafiltrasi dengan modul hollow fiber menghasilkan removal COD yang maksimal yaitu sekitar 98%. Dan hasil analisa COD telah memenuhi ambang batas yang telah ditetapkan berdasarkan Kep. Gub No.45 tahun 2002.

Penelitian ini kemudian dilanjutkan dengan menggunakan limbah umpan (influent) adalah limbah sintetis. Konsentrasi mikroorganisme yang digunakan termasuk konsentrasi yang tinggi yaitu 5000 mg/l, 10000 mg/l dan 15000 mg/l dengan konsentrasi COD sebesar 2000 mg/l dan 5000 mg/l. Hasilnya menunjukkan kecenderungan bahwa dengan menggunakan proses pengolahan limbah cair menggunakan proses separasi/filtrasi dengan membran yang dikombinasi dengan proses biologis menunjukkan hasil yang sesuai dengan ambang batas yang ditentukan oleh pemerintah untuk pembuangan limbah cair ke lingkungan yaitu sebesar 200 mg/l. Pengolahan limbah cair menggunakan prototipe bioreaktor ini mampu meremoval COD hingga 98-99% dari semula.

Peristiwa fouling pada membran merupakan peristiwa penyumbatan permukaan membran yang dapat mempengaruhi kinerja membran. Penyumbatan tersebut dikarenakan pengoperasian bioreaktor adalah kontinue sehingga partikel-partikel lumpur aktif terakumulasi pada lapisan permukaan membran yang menyebabkan penurunan fluks. Sehingga penurunan fluks dapat teramati secara kontinue. Pada penelitian ini, membran beroperasi secara *dead-end flow*. Filtrasi dengan sistem *dead-end* umumnya tidak layak digunakan jika larutan memiliki kandungan konsentrasi MLSS lebih dari 0.1% berat.

Dalam tangki aerasi, kebutuhan udara disuplay oleh empat (4) buah diffuser yang terendam pada dasar tangki aerasi. Pemasangan diffuser adalah untuk memenuhi kebutuhan oksigen tangki aerasi dan memberi aliran turbulensi untuk mencampur kandungan yang terdapat pada reaktor. Tujuan dari pemberian oksigen melalui diffuser adalah untuk memberikan efek filtrasi dengan sistem dead-end.

Backflushing menggunakan aliran permeat merupakan salah satu teknik untuk mengembalikan kinerja membran ketika terjadi penurunan fluks selama waktu operasi BRMt.

Membran yang digunakan dalam penelitian ini adalah ultrafiltration dengan modul Hollow Fiber dan berbahan (Poly Acrylo Nitrile-PAN). Hollow fiber memiliki inside diameter kurang dari 1,0 μm sedangkan outside diame-ternya 0,5 μm . Kelebihan membran Hollow Fiber yaitu memiliki densitas yang tinggi atau luas area membrane yang tinggi. Sedangkan kelemahannya adalah lebih cepat menimbulkan fouling karena memiliki pori-pori yang sangat kecil yaitu antara 0,1-0,01 micron.

Membran yang digunakan memiliki pori-pori sebesar 0.1 mm sehingga fouling lebih cepat terjadi. Fouling merupakan masalah tersendiri dalam proses membran, khususnya jika umpan (feed) berupa liquid. Fouling adalah lapisan pada permukaan membran atau penyumbatan pori dengan padatan pada permukaannya. Efek yang ditimbulkan dari penyumbatan tersebut adalah penurunan flux pada membran juga selektifitas dari membran tersebut.

Dalam penelitian ini, fouling juga telah menjadi masalah tersendiri pada permukaan membran sehingga perlu dilakukan pencucian untuk mengembalikan efektifitas kinerja membran. Untuk mengetahui kinerja membran akibat fouling yaitu dengan melakukan pengamatan flux pada membran. Langkah yang diambil untuk mengembalikan kinerja membran yaitu menggunakan teknik backflushing dengan variabel waktu (lamanya backflushing).

Fouling sering menjadi kendala atau masalah untuk proses membran tetapi sangat sulit untuk diprediksi dan dikontrol pada bioreaktor membran dengan tingkat heterogen yang tinggi dari konsentrasi MLSS/biomassa bioreaktor dan partikel, kemudian efek dari mikroorganisme yang aktif/ biomassa (Chang, 2002). Penyumbatan pada lapisan permukaan membran meng-

akibatkan menurunnya permeabilitas membran sehingga dapat mempengaruhi kualitas effluent. Sehingga untuk menangani fouling, maka dalam pengoperasian proses membran perlu dilakukan kombinasi dengan pencucian membran yaitu dengan back-flushing. Selain menggunakan backflushing, untuk mengatasi masalah fouling, maka dalam penelitian ini juga dilakukan backwash menggunakan larutan kimia yaitu NaOH dan HCl setiap melakukan running dengan konsentrasi MLSS yang berbeda. Hal ini dilakukan agar tidak mengganggu proses biologis yang terjadi didalam bioreaktor.

Jenis membran yang digunakan dalam penelitian ini adalah ultrafiltrasi hollow-fiber yang terendam dalam bioreaktor (tangki aerasi) dan sekaligus dapat kontak langsung dengan *mixed liquor*, selain itu membran tersebut juga memiliki pori-pori sebesar 0.1 μm sehingga dapat menahan pori-pori yang lebih besar termasuk bakteri, virus dan berbagai suspended solid yang lainnya (Thompson, dkk., 2005).

KESIMPULAN

1. Kinerja bioreaktor membran terendam [BRMt] pada MLSS = 15.000 mg/L, 20.000 mg/L dan 25.000 mg/L dengan limbah umpan adalah limbah MSG menunjukkan penyisihan atau removal COD limbah sintetis pada bioreaktor dengan COD = 10.000 mg/L dan MLSS = 15.000 mg/L menunjukkan penyisihan COD yang relatif lebih tinggi yaitu sekitar 98%.
2. Kinerja bioreaktor membran terendam [BRMt] pada MLSS = 5.000 mg/L menunjukkan bahwa : (a) Nilai MLSS maupun MLVSS pada beban organik rendah memiliki nilai yang lebih tinggi ; (b) Nilai SRT rendah cenderung menunjukkan nilai MLSS dan MLVSS rendah ; (c) Penyisihan atau removal COD limbah sintetis pada bioreaktor dengan COD = 2.000 mg/L dan MLSS = 5.000 mg/L menunjukkan penyisihan COD yang relatif lebih tinggi.
3. Kinerja bioreaktor membran terendam [BRMt] pada MLSS = 10.000 mg/L menunjukkan bahwa : (a) Variasi nilai COD larutan umpan relatif kurang berpengaruh terhadap nilai MLSS dan MLVSS; (b) Nilai SRT berpengaruh pada nilai MLSS maupun MLVSS; (c) SRT tak terhingga (tanpa pembuangan

lumpur) menunjukkan nilai MLSS yang relatif lebih tinggi dibanding SRT= 15 hari serta terendah pada nilai SRT = 5 hari; (d) Removal COD lebih besar terjadi pada nilai COD = 5.000 mg/L dibandingkan pada nilai COD = 2.000 mg/L.

4. Kinerja bioreaktor membran terendam [BRMt] pada MLSS = 15.000 mg/L menunjukkan bahwa : (a) Nilai MLSS maupun MLVSS lebih tinggi pada COD = 5.000 mg/L dibandingkan pada reaktor dengan nilai COD = 2.000 mg/L; (b) Nilai MLSS maupun MLVSS bervariasi terhadap nilai SRT urutan relatif SRT tak terhingga dilanjutkan SRT = 15 hari dan SRT = 5 hari; (c) Removal limbah sintesis, pada bioreaktor membran terendam dan lumpur aktif pada MLSS = 15.000 mg/L dan COD = 5.000 mg/L lebih tinggi dibandingkan pada bioreaktor membran terendam dan lumpur aktif pada MLSS = 15.000 mg/L dan COD = 2.000 mg/L.

DAFTAR PUSTAKA

- Bodzek., Michal, Zuzanna Debkowska, Ewa Lobos, and Krystyna Konieczny. 1996. *Biomembran Wastewater Treatment by Activated Sludge Method*. Elsevier. Desalination. 107. 83-95
- Bouhabil, El Hani, Roger Ben Aim, Herve Buisson. 2001. *Fouling Characterization in Membran Bioreactor*. Separation and Purification Technology. 22-23; 123-132
- Chang, In-Soung., Clech, Pierre Le., Jefferson, Bruce., dan Judd, Simon., 2002, *Membrane Fouling in Membrane Bioreactors for Wastewater Treatment*. Journal of Environmental Engineering, Vol.128, No. 11.
- Choi, Suing-il., Sung-gi King, Jeyong Yoon. 2003. *Particle Behaviour in Air Agitation Submerged Membrane Filtration*. Desalination. 158. 181-188.
- Cicek, N., J.P. Franco, M.T. Suidan, V. Urbain, J. Manem. 1999. *Characterization and Comparison of a Membrane Bioreactor and a Conventional Activated-sludge System in The Treatment of Wastewater Containing High-molecular-weight Compounds*. Wat. Environ. Res. 71, 64-70
- Cicek, N., Winna, H., Suidan, M.T., Wirenn, B.E., Urbain, V., Manem, J., 1998. *Effectiveness Of The Membrane Bioreactor In The Biodegradation Of High Molecular Weight Compounds*. Water Research 32, 1553-1563.
- Côté, Piere., Hervé Buisson, Charles Pound, Greg Arakaki. 1997. *Immersed Membrane Activated Sludge For The Reuse Of Municipal Wastewater*. Elsevier Science. Desalination. 113. 189-196.
- Fane, A. and Sheng Chang. 2002. *Membrane Bioreactors: Design & Operational Options*. Filtration and separation. 26 June 2002
- Ghyoot. W, W. Verstraete. 2000. *Reduced Sludge Production in a Two-stage Membrane Assisted Bioreactor*. Wat. Res. 34, 205-215
- Metcalf dan Eddy. 1991. *Wastewater Engineering Treatment, Disposal, and Reuse.. 3rd ed*. Mc Graw Hill. New York.
- Mulder, M., 1996. *Basic Principles of Membrane Technology*. 2nd edition. Netherlands: Kluwer Academic Publishers
- Thompson, Doug., Cory Schneider, Mark Murphy. 2005. *Immersed Membrane Bioreactors for Water Resue: Summary of 5 Years Experience*. Zenon Environmental Inc.
- Ueda, Tatsuki and Kenji Hata. 1999. *Domestic Wastewater Treatment by a Submerged Membrane Bioreactor with Gravitational Filtration*. Pergamon. Wat. Res. Vol. 33, No.12, pp. 2888-2892.
- Ujang, Zaini., Y.L.Au, H. Nagaoka. *Comparative study on microbial removal in immersed membrane filtration (IMF) with and without powdered activated carbon (PAC)*. Malaysia. Universiti Teknologi Malaysia.
- Van Dijk, L., Roncken, G.C.G., 1997. *Membrane bioreactors for wastewater treatment: The state of the art and new developments*. Water Science and Tech-nology 35, 35-41.
- Wie, Y., Van Houten, R. T., Borger, A. R., Eikelboom, D. H., Fan Y., 2003. *Minimization of Excess Sludge Production for Biological Wastewater Treatment*. Water Research. 37. 4453-4467

- Williams, Julien. 1999. *Cost-Effective Effluent Treatment In Paper and Board Mills*. Environmental technology basic practice programme.
- Witzig, Z., W. Manz, S. Rosenberg, U. Kruger, M. Kraume, U. Szewzyk. 2002. *Microbial Aspect of a Bioreactor with Submerged Membranes for Aerobic Treatment of Municipal Wastewater*. Water Research 36. p,394-402. Pergamon
- Xing, C.H., et al., 2000. *Ultrafiltration membrane bioreactor for urban wastewater reclamation*. Elsevier. Journal of Membrane Science. 177, 73-82
- Yamamoto, K., M. Hiasa, T. Mahmood, and T. Matsuo. 1989. *Direct Solid-Liquid Separation Using Hollow Fiber Membrane in an Activated Sludge aeration Tank*. Water Science Technology. 21. 43-54.
- Zhang, S., et al., 2003. *Sewage treatment by low energy membrane bioreactor*. Journal: Bioresources Technology. Elsevier Science.