

INOVASI DAN PENGEMBANGAN TEKNOLOGI MOVING BED BIOREACTOR (MBBR) UNTUK PENGOLAHAN LIMBAH CAIR DOMESTIK, RUMAH SAKIT DAN INDUSTRI

Ganden Supriyanto¹, dan Trisna Rahardi Issa²

¹Departemen Kimia, Fakultas Sain dan Teknologi, Universitas Airlangga, Surabaya
E-mail: ganden-s@fst.unair.ac.id

²Bagian Kerjasama dan Bisnis, Universitas Airlangga, Surabaya
E-mail: trisnarahardiissa@gmail.com

Abstrak. Ancaman pencemaran lingkungan tidak hanya berasal dari limbah cair industri dan rumah sakit tetapi juga dari limbah domestik. Hal ini disebabkan pembangunan infrastruktur yang terkait dengan limbah cair domestik sangat minim. Bahkan hampir tidak ada instalasi pengolahan air limbah domestik dibangun di kota-kota besar seperti Jakarta dan Surabaya. Oleh karena itu inovasi dan pengembangan teknologi pengolahan air limbah yang sederhana, murah, mudah perawatannya tetapi memiliki efisiensi dan kinerja yang tinggi sangat diperlukan. *Moving Bed Bioreactor* (MBBR) merupakan teknologi pengolahan air limbah secara biologis yang terbukti handal untuk mengolah air limbah domestik, rumah sakit dan industri. Pada sistem ini, bakteri ditumbuhkan pada media plastik yang mempunyai luas permukaan yang besar dan media ini terus bergerak dinamis karena pengaruh proses aerasi sehingga proses pengolahan limbah menjadi sangat efektif. Hasil aplikasi MBBR untuk pengolahan limbah domestik, rumah sakit dan industri menunjukkan bahwa MBBR mampu menurunkan parameter lingkungan BOD, COD, TSS, N total dan P total sangat signifikan. Oleh karena itu teknologi MBBR bisa dijadikan alternatif inovasi teknologi untuk mengatasi ancaman air limbah domestik, rumah sakit dan industri di masa yang akan datang. Tantangan permasalahan air limbah yang semakin kompleks di masa mendatang bisa diatasi dengan penerapan sistem IPAL hibrid.

Kata kunci: air limbah, inovasi, MBBR, pencemaran, teknologi

I. PENDAHULUAN

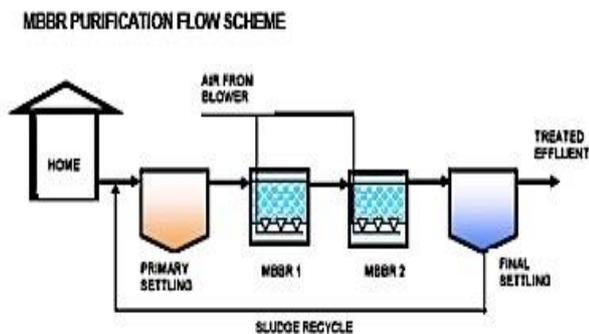
Air limbah dengan kadar nitrogen dan fosfor yang tinggi yang merupakan ciri limbah cair domestik dan rumah sakit, bisa dijadikan sebagai alasan utama atas munculnya masalah-masalah lingkungan jika air limbah tersebut dibuang ke lingkungan. Apalagi air limbah industri yang bisaanya miskin nutrient dan sulit didegradasi secara biologis. Masalah-masalah itu diantaranya karena konsumsi oksigen yang tinggi, eutrofikasi dan toksisitasnya. Untuk mengatasi masalah nutrient dalam air limbah, maka yang tepat adalah dengan mengembangkan Biological Nutrient Removal (BNR) yang bisa digunakan untuk melindungi lingkungan (Demeter *et al.*, 2017). Proses penghilangan fosfor bisa dibagi menjadi 3 kategori yaitu metode fisik, kimia dan biologi. Metode fisik umumnya sangat mahal dan efisiensinya hanya sekitar 10% (Deng *et al.*, 2017). Metode secara kimia mempunyai masalah harga bahan kimia yang mahal dan umumnya menghasilkan lumpur dengan jumlah yang banyak (Leix *et al.*, 2016).

Metode biologi bisa menghilangkan total fosfor sampai 98%. Oleh karena itu, proses biologis memberikan keuntungan ekonomi yang lebih tinggi dibandingkan metode fisika dan metode kimia. Proses BNR bisa meliputi proses enhanced biological phosphorus removal (EBPR) yang diaplikasikan secara anaerobik dan aerobik secara berurutan sehingga *polyphosphate accumulative organisms* (PAO) yang dapat menyimpan fosfor dalam bentuk polifosfat bisa tumbuh dengan baik. Oleh karena itu sistem pengolahan air limbah yang didasarkan pada sistem *anaerobic/anoxic/aerobic* (AAO) sudah mulai dikembangkan (Uan *et al.*, 2013). Penghilangan nitrogen bisa dilakukan dengan sistem AAO yang terdiri dari bagian anoxic-aerobik dengan produk akhir adalah gas nitrogen karena proses denitrifikasi oleh bakteri autotrop pada kondisi aerobik dan denitrifikasi oleh bakteri heterotroph pada kondisi anoxic (Demeter *et al.*, 2006). Metode pengolahan air limbah secara biologis bisa dibedakan menjadi *attached growth*

system dan *suspended growth system*. *Moving Bed BioReactor* (MBBR) merupakan attached growth sistem dengan memanfaatkan media plastic yang mempunyai permukaan yang sangat luas ($300 \text{ m}^2/\text{m}^3$) dan media ini bergerak secara dinamis sehingga kontak antara air limbah dengan bakteri sangat efektif. Hal ini juga menyebabkan proses pengolahannya menjadi semakin panjang. Akibatnya jumlah lumpur yang dihasilkan jauh lebih sedikit dibandingkan sistem pengolahan air limbah aerobik yang lain seperti *activated sludge* (AS) dan *Integrated Fixed-Film Activated Sludge* (IFAS). Keuntungan MBBR yang lain yaitu bisa dioperasikan secara anaerobik, aerobik atau kombinasi keduanya, bisa digunakan untuk menghilangkan COD, BOD, nitrogen dan fosforus, waktu retensinya sangat pendek, biaya investasinya minimal, tidak diperlukan adanya *recycle* lumpur, energy yang dibutuhkan relatif rendah, perawatannya mudah, biaya perawatannya murah dan menghasilkan effluent dengan mutu yang ekselen.

II. KONSTRUKSI IPAL MBBR

IPAL MBBR minimal terdiri dari pit, bak ekualisasi, bak MBBR, bak pengendap akhir dan bak biokontrol seperti ditunjukkan pada Gambar 1.



Gambar 1. Skema IPAL MBBR

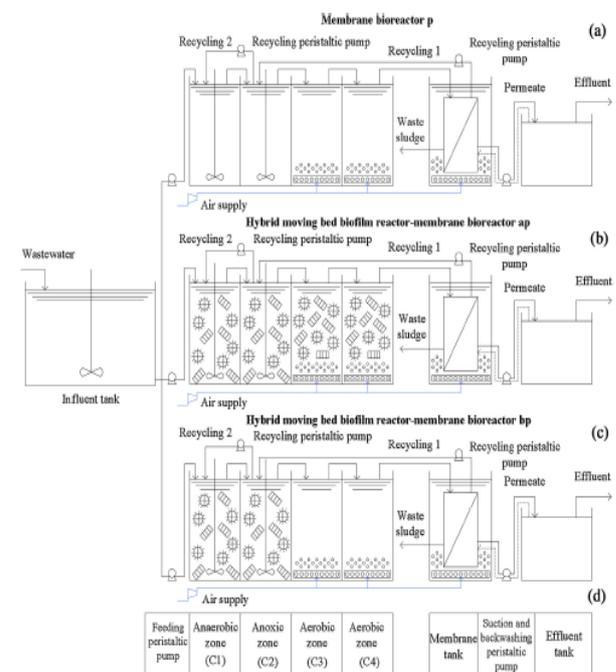
Pit berfungsi untuk menampung air limbah sementara. Di dalam pit dipasang pompa submersible yang kerjanya diatur oleh sensor ketinggian air limbah. Bak ekualisasi berguna untuk menghomogenkan air limbah. Di bak ekualisasi bisaanya dipasang sensor pH karena pH merupakan parameter penting dalam pertumbuhan mikroorganisme. Jumlah dan fungsi bak MBBR bisa diatur sesuai dengan tujuan pengolahan limbah. Jika tujuan pengolahan limbah untuk menurunkan nilai COD atau BOD, maka bak untuk nitrifikasi dan denitrifikasi tidak diperlukan. Harus dipastikan bahwa perbandingan BOD:N:P sesuai dengan sistem yang diterapkan, apakah anerobik atau aerobik. Bak pengendap akhir berfungsi untuk memisahkan bakteri dengan air hasil olahan. Lumpur yang diendapkan di bak pengendap akhir bisa langsung dibuang ke drying bed atau sebagian dikembalikan ke awal proses. Bak biokontrol berfungsi untuk memastikan bahwa air hasil olahan sudah memenuhi

baku mutu.

III. MBBR UNTUK MENGOLAH LIMBAH DOMESTIK

Limbah domestik dicirikan oleh kandungan nitrogen dan fosforus yang tinggi. Nitrogen bisa berasal dari sisa-sisa makanan yang mengandung protein sedangkan fosforus berasal dari detergen dan sabun mandi. Oleh karena itu tujuan pengolahan limbah domestik selain menurunkan COD dan BOD juga menghilangkan nitrogen dan fosforus. Hal ini sangat penting untuk dilakukan karena nitrogen dan fosforus merupakan nutrient yang bisa menyebabkan eutrofikasi jika dibuang ke lingkungan.

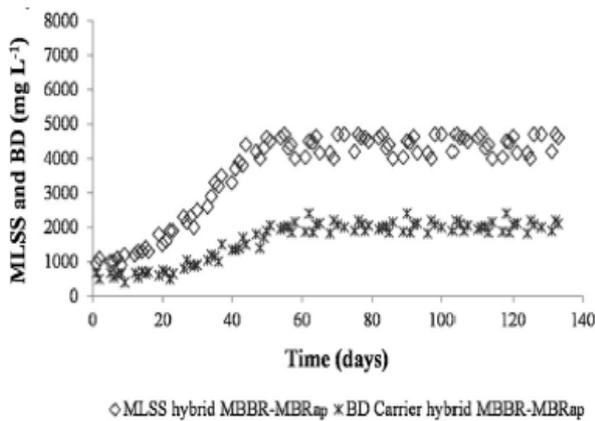
Leyva-Diaz *et al.* (2016) telah mengaplikasikan hibrid MBBR-MBR untuk mengolah limbah domestik. Sistem IPAL dioperasikan dalam 3 zona yaitu anaerobik, anoxic dan aerobik. Diagram eksperimennya ditunjukkan pada Gambar 2.



Gambar 2. Diagram eksperimen sistem MBBR-MBR untuk pengolahan limbah domestik (Leyva-Diaz *et al.*, 2016)

Hasil penelitian menunjukkan bahwa MLSS pada sistem hibrid MBBR-MBR terjadi setelah hari ke 50 dengan konsentrasi 4.500 mg/L. Proses nitrifikasi menyebabkan terjadinya penurunan pH pada reactor dan juga pada effluent. Bagian anaerobik dari IPAL tidak mengandung oksigen terlarut. Konsentrasi oksigen terlarut pada bagian anoxic adalah 0,3 mg/L sedangkan pada bagian aerobik 2 mg/L. Ini sesuai dengan hasil penelitian Zinatizadeh dan Ghaytooli (2016) yang menyatakan bahwa proses oksidasi senyawa organik dan nitrifikasi terjadi pada kondisi tersebut. Removal COD, BOD, total nitrogen dan total fosforus berturut-turut 85%, 97%, 61% dan 45%. Grafik antara waktu dan MLSS serta densitas biofilm

ditunjukkan pada Gambar 3.



Gambar 3. Grafik antara waktu dan konsentrasi MLSS serta densitas biofilm dalam sistem hibrid MBBR MBR

IV. MBBR UNTUK LIMBAH RUMAH SAKIT

Rumah sakit dalam kegiatannya menghasilkan limbah padat dan limbah cair yang infeksius. Limbah cair rumah sakit umumnya mengandung senyawa organik yang tidak terlalu tinggi konsentrasinya. Kandungan senyawa organik dalam limbah rumah sakit diwakili oleh parameter COD dan BOD₅. Selain COD dan BOD₅, maka parameter limbah rumah sakit adalah TSS, NH₃-N bebas, ortofosfat, sisa klor, fenol, temperatur dan pH. Selain parameter fisika dan kimia, limbah cair rumah sakit juga harus memenuhi persyaratan parameter biologi. Parameter biologi dinyatakan dalam jumlah *E. coli* dalam satuan MPN/100 mL.

Standar baku mutu untuk setiap parameter limbah cair rumah sakit berbeda untuk setiap daerah dan ditetapkan berdasarkan SK Gubernur. Untuk provinsi Jawa Timur, baku mutu limbah cair rumah sakit untuk parameter pH, suhu, BOD₅, COD, TSS, NH₃-N bebas dan ortofosfat berturut-turut adalah 6-9, 30°C, 30 mg/L, 80 mg/L, 30 mg/L, 0,1 mg/L dan 2 mg/L. Sedangkan untuk parameter biologi adalah maksimum 10.000 MPN *E. coli*/100 mL.

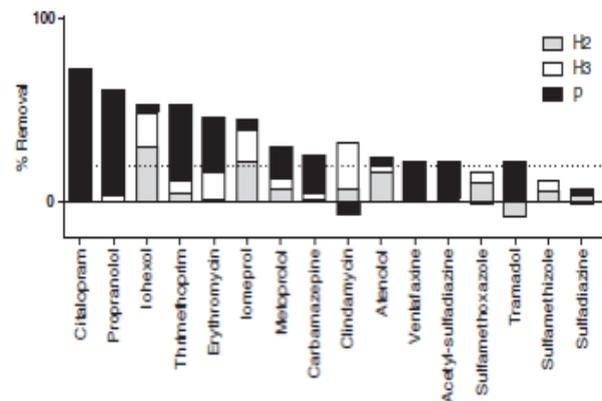
Rumah sakit juga merupakan salah satu sumber limbah yang mengandung bahan-bahan farmasi yang nantinya dibuang ke saluran pembuangan limbah domestik. Oleh karena itu limbah farmasi dari rumah sakit biasanya diolah bersama sama dengan limbah domestik (Santos *et al.*, 2013). Beberapa studi menunjukkan bahwa sistem pengolahan air limbah yang menggunakan lumpur aktif konvensional tidak mampu menghilangkan senyawa farmasi ini dari air limbah rumah sakit. Beberapa IPAL rumah sakit menggunakan teknologi ABR (*Anaerobic Baffle Reactor*) tetapi sistem ini gagal mereduksi kandungan ortofosfat dan NH₃-N bebas sehingga seringkali effluent dari ABR tidak memenuhi baku mutu. Proses *post treatment* masih diperlukan seperti adsorpsi dengan karbon aktif, fotolisis dengan sinar ultraviolet,

proses oksidasi lanjut, reverse osmosis atau nanofiltrasi.

Berdasarkan atas perhatian yang besar akan menyebarnya patogen, maka negara-negara seperti Cina dan Jepang telah menerapkan *Membrane BioReactor* (MBR) untuk mengolah limbah rumah sakitnya. MBR juga masih membutuhkan *post treatment* untuk menghilangkan senyawa farmasi dari air limbah rumah sakit. Escola Casas *et al.*(2015) mengatakan bahwa sistem pengolahan limbah MBBR mampu menghilangkan senyawa farmasi dari air limbah rumah sakit.

Hybas (*Veolia Water Technology*) merupakan proses hibrid yang didasarkan pada teknologi *fixed film* lumpur aktif yang terintegrasi dimana plastik polietilen yang digunakan sebagai tempat tumbuh bakteri dimasukkan ke dalam lumpur aktif dalam satu reaktor (Odegaard *et al.*, 2014). Hybas mempunyai 2 jenis biomassa yang berbeda. Pertama, biomassa dengan umur lumpur yang pendek berupa flok lumpur aktif. Kedua, biomassa dengan umur lumpur yang panjang yang menempel sebagai biofilm di MBBR *carrier*.

Penelitian yang dilakukan oleh Escola Casas *et al.*(2015) untuk menghilangkan senyawa farmasi dari air limbah rumah sakit menggunakan hybas dengan berbagai carrier menunjukkan bahwa removal efisiensi bisa mencapai 71% seperti ditunjukkan pada Gambar 4.



Gambar 4. Persen removal beberapa senyawa farmasi yang terkandung dalam air limbah rumah sakit (Escola Casas *et al.*, 2015).

V. MBBR UNTUK MENGOLAH LIMBAH INDUSTRI

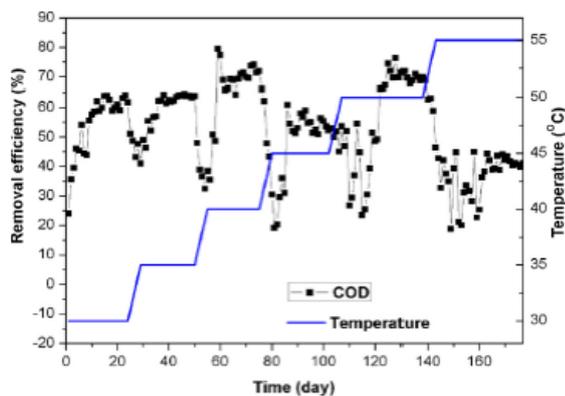
Berdasarkan karakteristiknya, limbah cair industri lebih kompleks jika dibandingkan dengan air limbah rumah sakit. Limbah cair industri umumnya mempunyai nilai COD dan BOD₅ yang lebih besar jika dibandingkan dengan air limbah rumah sakit. Bahkan ada air limbah industri yang nilai CODnya lebih dari 90.000 mg/L. Selain itu, ada juga tipe air limbah industri yang kandungan nutriennya sangat tinggi, misalnya industri yang air limbahnya banyak mengandung protein dan asam amino, misalnya air limbah *cold storage*.

Industri tekstil merupakan salah satu industri terpenting yang menghasilkan air limbah dengan nilai COD yang tinggi, berwarna dan kandungan senyawa organik yang kompleks. Teknologi pengolahan limbah secara biologis lebih banyak

digunakan untuk mengolah limbah industri karena simpel dan harganya murah. Umumnya sistem IPAL dioperasikan pada suhu di bawah 40°C. Namun limbah tekstil umumnya mempunyai suhu di atas 40°C sehingga perlu strategi khusus untuk mengolah limbah tekstil.

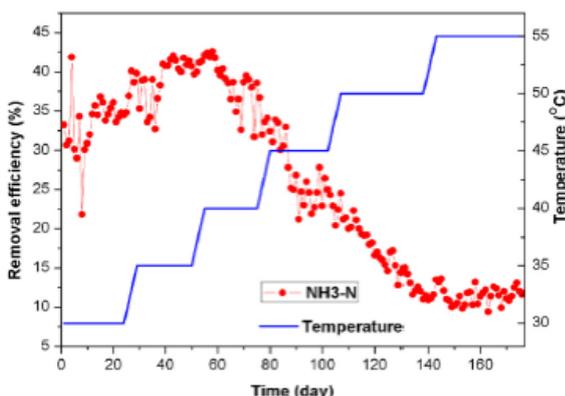
Pendekatan yang sudah dilakukan yaitu dengan menggunakan bakteri termofil. Bakteri ini sudah banyak digunakan untuk mengolah limbah minuman beralkohol, pemotongan hewan dan limbah sayuran. Keunggulan penggunaan bakteri termofil untuk pengolahan limbah diantaranya adalah laju degradasinya bisa 3-5 kali lebih cepat, menghasilkan lumpur yang lebih sedikit dan dapat menghilangkan bakteri pathogen lebih banyak.

Li *et al* (2015) melakukan penelitian tentang pengaruh suhu terhadap efisiensi pengolahan limbah tekstil menggunakan sistem MBBR. Hasil penelitian menunjukkan bahwa removal COD 69,8% dan 70,1% terjadi pada suhu 40°C dan 50°C. Diduga bakteri yang mempunyai kemampuan mendegradasi COD di bawah suhu 40°C berangsur-angsur tergantikan oleh bakteri baru yang mempunyai kemampuan mendegradasi COD di atas suhu 40°C dan kemampuan maksimumnya tercapai pada suhu 50°C. Grafik antara waktu dengan efisiensi COD removal serta kenaikan suhu ditunjukkan pada Gambar 5.



Gambar 5. Grafik hubungan antara waktu dan efisiensi COD removal serta suhu

Hasil yang sebaliknya ditunjukkan oleh NH₃-N removal. Hasil penelitian menunjukkan bahwa NH₃-N removal menurun dengan naiknya suhu. Rendahnya NH₃-N removal mungkin disebabkan kompleksitas polutan nitrogen dalam air limbah tekstil. Dari Gambar 6 terlihat bahwa aktifitas bakteri nitrifikasi terjadi pada suhu di bawah 40°C. NH₃-N removal optimum terjadi pada suhu 35°C.



Gambar 6. Grafik hubungan antara waktu dengan NH₃-N

removal serta suhu

VI. PENUTUP

Untuk saat ini MBBR terbukti sebagai sistem pengolahan limbah secara biologis yang mempunyai keunggulan yaitu simpel, handal dan mudah pengoperasiannya. Sistem IPAL ini telah banyak digunakan untuk mengolah berbagai jenis limbah, khususnya limbah domestic, limbah rumah sakit dan limbah industri dengan hasil yang sangat bagus.

Namun, tantangan ke depan pasti lebih kompleks. Dengan variasi bahan kimia yang digunakan dalam proses industri, maka MBBR tentu harus mengalami inovasi untuk mengikuti perkembangan tersebut. Salah satu pendekatannya adalah dengan menggunakan sistem hibrid. Beberapa sistem hibrid telah dicoba untuk mengolah limbah diantaranya adalah MBBR-MBR, Fenton-MBBR dan IFAS-MBBR.

DAFTAR PUSTAKA

- Demeter, M.A., Lemire, J.A., Mercer, S.M., Turner, R.J., 2017, "Screening selectively harnessed environmental microbial communities for biodegradation of polycyclic aromatic hydrocarbons in moving bed biofilm reactors", *Bioresource Biotechnol.*, Vol. 228, hlm. 116-124
- Deng, L., Guo, W., Ngo, H.H., Zhang, X., Wang, X.C., Zhang, Q., Chen, R., 2017, "New functional biocarriers for enhancing the performance of a hybrid moving bed biofilm reactor-membrane bioreactor systems", *Bioresource Biotechnol.*, Vol. 208, hlm. 87-93
- Escola Casas, M., Chhetri, R.K., Ooi, G., Hansen, K.M.S., Litty, K., Christensson, M., Kragelund, C., Andersen, H.R., Bester, K., 2015, "Biodegradation of pharmaceuticals in hospital wastewater by hybrid biofilm and activated sludge system (Hybas)", *Sci. Total Environ.*, Vol. 530-532, hlm. 383-392
- Leix, C., Drewes, J.E., Koch, K., 2016, "The role of residual quantities of suspended sludge on nitrogen removal efficiency in a deammonifying moving bed biofilm reactor", *Bioresource Technol.*, Vol. 219, hlm. 212-218.
- Leyva-Diaz, J.C., Munio, M.M., Gonzalez-Lopez, J., Poyatos, J.M., 2016, *Ecological Engineering*, Vol. 91, hlm. 440-458.
- Li, C., Zhang, Z., Li, Y., Cao, J., 2015, "Study on dyeing wastewater treatment at high temperature by MBBR and the thermotolerant mechanism based on its microbial analysis", *Process Biochem.*, Vol. 50, hlm. 1934-1951.
- Odegaard, H., Christensson, M., Sorensen, K., 2014, Hybrid sistem. In Jenkins, D., Wanner, J., *Activated Sludge-100 Years and Counting*. IWA Publishing.
- Santos, L.H.M.L.M., Gros, M., Rodriguez Mozaz, S., Delerue-Matos, C., Pena, A., Barcelo, D., Montenegro, M.C.B.S.M., 2013, "Contribution of hospital effluents to the load of pharmaceuticals in urban wastewaters: identification of ecologically relevant pharmaceuticals", *Sci. Total Environ.*, Vol. 461-462, hlm. 302-316.

Uan, D.K., Yeom, I.T., Arulazhagan, P., Rajesh Banu, J., 2013, Effect of sludge pretreatment on sludge reduction in a lab scale anaerobic/anoxic/oxic sistem treating domestic wastewater, *Int. J. Environ. Sci. Technol.*, Vol. 10, hlm. 495-502.

Zinatizadeh, A.A.L., Ghaytooli, E., 2016, Simultaneous removal of nitrogen and carbon removal from wastewater at different operating conditions in a moving bed biofilm reactor (MBBR): Process modeling and optimization, 2015, *Journal of the Taiwan Institute of Chemical Engineers*, Vol. 53, hlm. 98-111.