

Modifikasi Unit Proses dalam Peningkatan Efisiensi Penyisihan Amonium

Modification of Process Unit to Improve Ammonium Removal Efficiency

Nailatul Fadhilah^{1*}, Leonardus Alvin Widi Vembrio¹, Rahajeng Hasna Safira¹, Ahmad Amiruddin¹, Evi Siti Sofiyah¹, I Wayan Koko Suryawan¹

¹Program Studi Teknik Lingkungan, Fakultas Perencanaan Infrastruktur, Universitas Pertamina, Jl. Teuku Nyak Arief, Kebayoran Lama, Jakarta Selatan 12220, Indonesia

*Email korespondensi: nailatulfadhilah12@gmail.com

ABSTRAK

Saat ini kualitas badan air semakin menurun akibat pembuangan limbah domestik dan industri secara langsung pada aliran sungai. Kualitas air sungai dengan beban nutrien dan organik yang tinggi mempersulit pengolahan air minum di salah satu industri DKI Jakarta. Salah satu dampak dari memburuknya beban nutrien air baku adalah tingginya kandungan parameter amonium yang berakibat tidak efisiennya proses klorinasi. Hal ini membuat dibangunnya unit MBBR aerob, dengan tujuan menyisihkan kandungan amonium. Akan tetapi, unit MBBR aerob ini tidak berfungsi secara optimal. Masalah ini akan diatasi dengan mengalihfungsikan unit pra-sedimentasi yang ada menjadi unit MBBR anaerob secara pre-anoksik, sehingga dapat melengkapi proses penyisihan amonium yang terdiri dari nitrifikasi dan denitrifikasi. Tujuan dari modifikasi ini adalah mendapatkan efisiensi penyisihan amonium sebesar 90%. Metode yang digunakan pada perancangan ini dimulai dengan mengumpulkan data sekunder, lalu dilakukan perhitungan perancangan unit MBBR anaerob. Hasil perancangan menunjukkan bahwa dimensi yang dibutuhkan untuk unit MBBR anaerob ini adalah dengan ukuran panjang 18 m, lebar 7 m, dan kedalaman 9.5 m. Dengan efisiensi akhir diharapkan sebesar 90% untuk MBBR anaerob dengan konsentrasi akhir amonium diharapkan sebesar 1.05 mg.L⁻¹.

Kata kunci: amonium, denitrifikasi, MBBR, nitrifikasi, pre-anoksik

ABSTRACT

At present the quality of water bodies is decreasing due to the disposal of domestic and industrial waste directly in the river flow. River water quality with high nutrients and organic load is difficult to drinking water treatment in one of the industries in DKI Jakarta. One of the effects of the worsening raw water nutrient load is the high content of ammonium parameters which results in inefficient chlorination processes. The declining raw water condition makes build an MBBR aerobic unit, with the aim to remove the ammonium content. However, the existing MBBR aerob unit does not function optimally. This problem can be overcome by changing the pre-sedimentation unit into an anaerobic MBBR unit pre-Anoxically, so as to complete the ammonium removal process consisting of nitrification and denitrification. The purpose of this modification is to obtain an ammonium removal efficiency of 90%. The method used in this design is to collect secondary data. Then, anaerobic MBBR unit design is calculated. The results of the design show that the dimensions needed for this anaerobic MBBR unit are 18 m long, 7 m wide, and 9.5 m height. With a final efficiency expected of 90% for anaerobic MBBR with an ammonium final concentration expected to be 1.05 mg.L⁻¹.

Keywords: ammonium, denitrification, MBBR, nitrification, pre-Anoxic

PENDAHULUAN

Kebutuhan air bersih semakin meningkat setiap tahunnya seiring dengan peningkatan populasi. Manusia membutuhkan air bersih untuk berbagai macam kebutuhan seperti untuk memasak, mandi, mencuci, menyiram tanaman dan untuk air minum. Oleh karena itu, kualitas air perlu dijaga agar tidak menimbulkan masalah kesehatan bagi makhluk hidup dan lingkungan (Gafur dkk., 2017). Teknologi pengolahan air dilakukan untuk menghilangkan bahan-bahan yang berbahaya agar sesuai dengan baku mutu yang berlaku (Hazmi dkk., 2012).

Teknologi pengolahan air akan sangat bergantung pada kualitas air yang akan diolah (Basir dkk., 2017). Ketika musim kemarau, kualitas air pada suatu badan air akan cenderung menurun dibandingkan musim hujan, karena banyak polutan, seperti amonium, mangan, dan besi yang tidak dapat terdilusi dengan baik akibat berkurangnya jumlah air di badan air.

Amonium dapat diolah dengan proses nitrifikasi menjadi nitrat. Selanjutnya nitrat perlu diolah untuk menghasilkan gas N₂ (nitrogen) dengan proses denitrifikasi. Batas maksimum nitrat yang diizinkan untuk digunakan sebagai air baku air minum adalah 10 mg.L⁻¹ berdasarkan Peraturan Pemerintah Republik Indonesia Nomor 82 Tahun 2001 Pengelolaan Kualitas Air dan Pengendalian Pencemaran Air untuk air kelas satu. Jika nitrat melebihi batas maksimum, akan berbahaya bagi masyarakat yang mengonsumsinya, terutama pada anak-anak, karena dapat menyebabkan *blue-baby syndrome* (US EPA, 2019). Konsentrasi amonium yang tinggi dapat menyulitkan proses pengolahan di instalasi pengolahan air minum, terutama unit desinfeksi karena peningkatan kadar amonium akan menyebabkan peningkatan kebutuhan klor untuk desinfeksi.

Instalasi pengolahan air minum (IPAM) di salah satu industri di Kota Jakarta memiliki unit *Moving Bed Biofilm Reactor* (MBBR) aerob untuk menyisihkan amonium di instalasi pengambilan air bakunya. Akan tetapi, unit MBBR yang ada saat ini belum dapat menyisihkan amonium secara efektif. Amonium merupakan salah satu parameter nutrien di dalam kualitas air. Nutrient dalam

perairan dapat menyebabkan dampak negatif terhadap lingkungan seperti eutropikasi (Suryawan & Sofiyah, 2020; Apritama dkk., 2020). MBBR dapat mengolah air dengan optimum dengan memperhatikan kadar pH maupun rasio karbon dan nitrogen (C/N). Nilai pH optimum untuk proses nitrifikasi adalah 7 sampai dengan 8 (Tarre & Green, 2004). Nilai C/N rasio dalam penelitian ini menggunakan perbandingan BOD₅ dan Ammonium. C/N menentukan keberhasilan proses nitrifikasi, dimana nilai C/N di atas 1 menunjukkan keberhasilan dalam pengolahan air limbah (Suryawan dkk., 2019; Suryawan dkk., 2020b).

Peningkatan kadar amonium dalam air limbah menyebabkan peningkatan beban kerja pada proses klorinasi yang berdampak pada peningkatan kebutuhan klorin. Untuk itu perlu dilakukan modifikasi desain unit MBBR untuk meningkatkan efisiensi penyisihan amonium. Saat ini, IPAM memiliki unit penyisihan amonium berupa MBBR aerob. Unit MBBR aerob melakukan proses penyisihan organik dan nitrifikasi. Pada instalasi pengambilan air baku, tidak ada unit pengolahan untuk proses denitrifikasi. Salah satu unit yang bisa melakukan proses denitrifikasi adalah MBBR anaerob. Saat proses pengolahan secara anaerob efisiensi pengolahan nutrient dapat ditingkatkan (Suryawan dkk., 2019). Instalasi pengolahan air baku membutuhkan unit MBBR anaerob untuk meningkatkan efisiensi penyisihan amonium. Beberapa studi menyebutkan pemberian proses *partial Nitritation-Anammox* dapat meningkatkan penyisihan amonium (Bertino, 2011; Persson, *et al.*, 2017). Proses simultan anaerobik-aerobik MBBR beberapa penelitian dapat mencapai penyisihan amonium sebesar 97% (Chen dkk., 2008). Lu dkk., (2013) menyebutkan integrasi anaerobik-aerobik MBBR diperlukan untuk mencapai efisiensi pengolahan air yang tinggi.

BAHAN DAN METODE

Data yang digunakan dalam perancangan ini merupakan data sekunder selama 1 tahun terakhir yang telah dihitung untuk

Tabel 1. Kualitas air instalasi pengambilan air baku

Parameter	Air Baku			Air Olahan		
	Rerata	Min	Maks	Rerata	Min	Maks
pH	7.44	7.24	7.55	7.48	7.28	7.57
Amonium (mg.L ⁻¹)	10.93	4.58	14.80	9.06	3.20	13.87
BOD (mg.L ⁻¹)	14.17	7.00	30.00	tt	tt	tt
C/N	0.77	0.65	2.11	tt	tt	tt

Keterangan : tt = tidak tersedia data

mencari nilai rerata, minimum, dan maksimum (Tabel 1). Perancangan yang dilakukan berdasarkan beban pencemaran tertinggi. Tabel 1 adalah data kualitas air baku dan air olahan Instalasi Pengambilan Air Baku sejak Agustus 2018 hingga Agustus 2019. Pengukuran parameter dilakukan berdasarkan SNI dan *standard method* yang berlaku. Data sekunder yang digunakan meliputi data debit dan kualitas air Instalasi Pengambilan Air Baku.

Tabel 1 menunjukkan pH dalam air baku masih berkisar dalam pH normal sehingga tidak perlu dilakukan pengolahan lebih lanjut. Konsentrasi organik dalam pengolahan air secara biologis sangat tergantung oleh perbandingan C/N. Dalam perancangan ini BOD menjadi parameter kontrol untuk memastikan proses pengolahan secara biologis dapat berjalan dengan baik. Berdasarkan Peraturan Pemerintah Republik Indonesia Nomor 82 Tahun 2001, standar air kelas 1 untuk BOD adalah 2 mg.L⁻¹.

Dimensi unit MBBR anaerob didapatkan dari data eksisting unit prasedimentasi. Panjang unit MBBR adalah 18 m, lebar 7 m. Kedalaman air adalah 0.95 m, dengan tinggi jagaan 0.15 m.

Pengolahan Data

Parameter yang penting dalam pengolahan biologis adalah SALR dan SARR. *Surface Area Loading Rate* (SALR) adalah parameter yang menyatakan banyaknya polutan yang masuk ke tiap area luas media. Satuan dari SALR adalah g.m⁻²-hari. *Surface Area Removal Rate* (SARR) adalah parameter yang menyatakan banyaknya polutan yang disisihkan tiap area luas media. Satuan dari SALR adalah g.m⁻²-hari. Perhitungan penyisihan NH₄-N disajikan pada Persamaan 1 (Bengston, 2017). Beberapa parameter dihitung berdasarkan rumus,

yaitu NH₄-N Daily Loading (Persamaan 2), *Carrier Surface Area Needed* (CSAN) pada Persamaan 3, *Calculated Carrier Volume* (CCV) pada Persamaan 4, *Carrier Volume Existing* (CVE) adalah volume tangki yang terisi air limbah pada Persamaan 5, *Tank Liquid Volume* (TLV) dihitung berdasarkan Volume Tangki (V) dan *Carrier % Void Space* (CVS) pada Persamaan 6, *Hydraulic Retention Time* (HRT) pada Persamaan 7, Bilangan Reynolds (Re) dihitung dari kecepatan aliran (v), diameter hidrolis (Dh) dan viskositas kinematika (ν) pada Persamaan 8, dan Bilangan Froude (Fr) dihitung dari kecepatan aliran, gaya gravitasi (g) dan kedalaman hidrolis (Hh) pada Persamaan 9.

$$\% \text{ Penyisihan} = \frac{\text{SARR}}{\text{SALR}} \dots\dots\dots (1)$$

$$\text{NH}_4 - \text{N Daily Loading} = (\text{NH}_4 \times Q) \dots\dots\dots (2)$$

$$\text{CSAN} = \frac{\text{NH}_4 - \text{N Daily Loading}}{\text{SALR}} \dots\dots\dots (3)$$

$$\text{CCV} = \frac{\text{CSAN}}{\text{Carrier Specific Surface Area}} \dots\dots\dots (4)$$

$$\text{CVE} = \text{VT} \times \% \text{Media di Air} \dots\dots\dots (5)$$

$$\text{TLV} = \text{VT} - (\text{CVE} \times (1 - \text{CVS})) \dots\dots\dots (6)$$

$$\text{HRT} = \frac{\text{TLV}}{(Q + Q_R)} \dots\dots\dots (7)$$

$$\text{Re} = \frac{v \times Dh}{\nu} \dots\dots\dots (8)$$

$$\text{Fr} = \frac{v}{\sqrt{g \times Hh}} \dots\dots\dots (9)$$

NH₄-N Daily Loading merupakan influen beban nutrient air baku/air limbah dalam bentuk ammonium. CSAN merupakan luas spesifik permukaan yang dibutuhkan dalam unit MBBR dalam menyisihkan

ammonium. CCV menggambarkan volume ammonium dalam perbandingan luas spesifik yang dibutuhkan dan luas spesifik area dalam membawa beban ammonium. CVE adalah volume media dari unit MBBR yang ditentukan berdasarkan kondisi eksisting. TLV ditentukan dari volume tangki dan volume media yang direncanakan. HRT merupakan waktu tinggal air dalam seluruh rangkaian unit MBBR. Re dan Fr menentukan jenis aliran dalam bak agar tidak terjadi jenis aliran turbulen dan berkriteria kritis.

Kualitas air baku dan air hasil olahan yang didapat dari data sekunder Laboratorium Instalasi Pengambilan Air Baku dilakukan perbandingan dengan baku mutu Peraturan Pemerintah Republik Indonesia Nomor 82 Tahun 2001 Pengelolaan Kualitas Air dan Pengendalian Pencemaran Air untuk air kelas satu untuk parameter amonium. Langkah selanjutnya adalah menentukan apakah desain unit MBBR sebagai unit yang berfungsi sebagai unit penyisihan amonium sudah sesuai dengan kriteria desain atau belum. Tabel 2 menunjukkan kriteria desain unit MBBR anaerob.

Tabel 2. Kriteria Desain Unit MBBR Anaerob

Parameter	Satuan	Rentang Nilai	Sumber
Td anoksik ¹	Jam	0.5-2	John Brinkley
Td aerobik ²	Jam	0.25-1	Kuraray
A biofilm ³	m ² .m ⁻³	500-1200	John Brinkley

Keterangan :

¹waktu detensi anoksik

² waktu detensi anaerobik

³luas permukaan biofilm

Sumber: Brinkley (2007) dan Kuraray (2018)

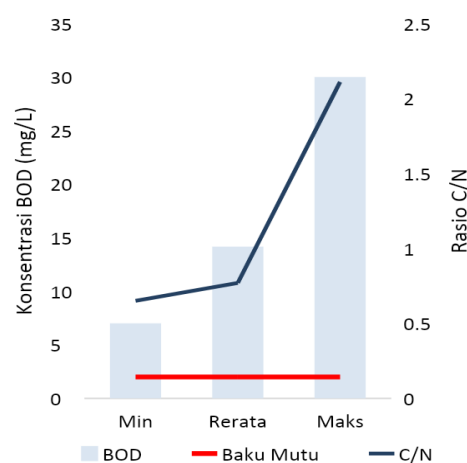
HASIL DAN PEMBAHASAN

Penyisihan BOD dan Amonium

Hasil pemantauan kualitas air baku berdasarkan parameter BOD dapat dilihat pada Gambar 1. Konsentrasi BOD dalam periode waktu satu tahun dengan konsentrasi rerata, konsentrasi minimum, dan konsentrasi maksimum masing-masing 14.17 mg.L⁻¹, 7 mg.L⁻¹, dan 30 mg.L⁻¹.

Berdasarkan penelitian Bering dkk., 2018 menyebutkan efisiensi penyisihan BOD dalam pengolahan MBBR dapat mencapai 95-98 %. Jika diambil nilai tipikal dari efisiensi tersebut konsentrasi effluent BOD rerata, konsentrasi effluent BOD minimum, dan konsentrasi effluent BOD maksimum masing-masing yang dirapkan 0.5 mg.L⁻¹, 0.25 mg.L⁻¹, dan 1.05 mg.L⁻¹. Akan tetapi konsentrasi bahan organik ini harus tetap dijaga agar nilai C/N dalam pengolahan tetap memenuhi kriteria, jika tidak memenuhi kriteria tersebut maka efisiensi pengolahan MBBR tidak akan optimum.

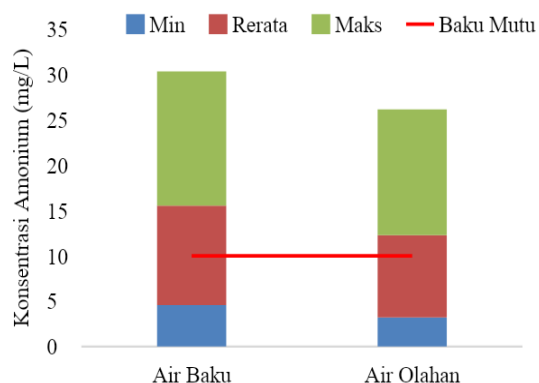
Rasio C/N dalam air baku memiliki nilai antara 0.65–2.11. Penelitian menyebutkan ammonium tidak dapat disisihkan dengan baik jika rasio C/N lebih rendah dari pada 0,1 (Wu & Zhang, 2017). Rasio C/N dalam air baku sudah memenuhi standar ini, terutama dalam kondisi minimum.



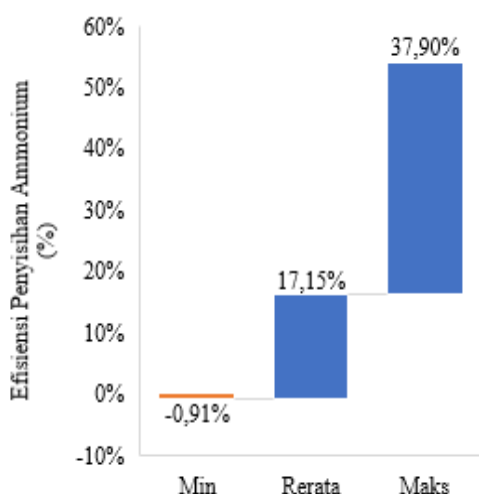
Gambar 1. Karakteristik air baku berdasarkan parameter BOD dan nilai rasio C/N

Hasil pemantauan kondisi eksisting pengolahan air memperlihatkan hasil pengolahan yang masih belum efisien. Gambar 2 memperlihatkan air hasil olahan masih mendekati baku mutu Peraturan Pemerintah Republik Indonesia Nomor 82 Tahun 2001. Berdasarkan persamaan 1 efisiensi pengolahan ammonium dapat dilihat pada Gambar 3. Efisiensi penyisihan ammonium kondisi eksisting pengolahan air baku dengan rata-rata 17.15% dengan maksimum 37.9%. Pada kondisi tidak optimal ammonium bahkan tidak dapat

disisihkan, bahkan memperlihatkan adanya penambahan konsentrasi ammonium. Peningkatan ammonium dapat mencapai 0.91% dalam kondisi minimum. Hal ini menyebabkan perlunya modifikasi lebih lanjut terhadap unit pengolahan eksisting.



Gambar 2. Karakteristik air baku berdasarkan parameter ammonium



Gambar 3. Efisiensi penyisihan ammonium. Proses penyisihan organik dan amonium dilakukan dengan *carbonaceous removal*, nitrifikasi, dan denitrifikasi. Proses ini dilakukan secara berurutan. Penguraian organik diartikan dengan bahan organik yang digunakan oleh organisme sebagai bahan makanan. Hasil akhir dari proses penguraian organik adalah karbon dioksida (CO_2) dan air (H_2O) (Sawyer, 2003).

Nitrifikasi adalah proses transformasi amonium nitrogen menjadi nitrit dan nitrat oleh mikroorganisme dari *Nitrosomonas* dan *Nitrobacter*. Denitrifikasi merupakan proses transformasi nitrat menjadi nitrit, dan nitrit

menjadi gas nitrogen. Pada proses ini, kandungan karbon pada air sangat sedikit, sehingga untuk membuat proses berjalan optimal, perlu adanya tambahan karbon. Pengolahan nitrat pada proses denitrifikasi biasanya dilakukan dengan unit yang terletak setelah proses nitrifikasi. Akan tetapi, penerapan proses denitrifikasi di awal pengolahan memungkinkan untuk dilakukan. Proses nitrifikasi di awal pengolahan dilakukan dengan prinsip resirkulasi efluen proses nitrifikasi ke proses denitrifikasi, sehingga tidak memerlukan karbon tambahan (Metcalf & Eddy, 2014).

Moving Bed Biofilm Reactor (MBBR)

Moving Bed Biofilm Reactor (MBBR) merupakan unit pengolahan biologis dengan menggunakan media yang bergerak sebagai tempat hidup koloni mikroorganisme yang tumbuh menjadi biofilm. MBBR dapat dioperasikan pada kondisi aerobik atau anaerobik. MBBR dioperasikan pada kondisi aerobik untuk menurunkan kadar organik dan nitrifikasi, sedangkan MBBR yang dioperasikan pada kondisi anaerobik untuk denitrifikasi. MBBR menjadi populer dalam bidang pengolahan karena efisiensi yang lebih tinggi, meminimalisasi kompleksitas proses, tidak memerlukan *backwashing*, perawatan unit yang mudah, dan ekonomis (Borkar, 2013). Media yang digunakan untuk pembentukan *biofilm* di MBBR disebut dengan *biocarrier*. Jenis plastik yang digunakan untuk *biocarrier* adalah jenis HDPE, *polypropylene* atau *polyethylene*. (Metcalf & Eddy, 2003). Jenis media akan mempengaruhi luas permukaan spesifik unit MBBR. Tabel 3 memperlihatkan luas permukaan spesifik unit MBBR.

Tabel 3. Jenis media dan luas permukaan spesifik dalam unit MBBR

Media MBBR	Luas Permukaan Spesifik ($\text{m}^2.\text{m}^{-3}$)
Hydroxyl Media	400
Kaldnes K-1 Media	500
STOHR	660
Kaldnes Flat Chip	1200

Sumber: Metcalf & Eddy (2003)

Pre-Anoxic

Untuk meningkatkan efisiensi penyisihan unit amonium di pengolahan air minum, dilakukan penambahan *pre-Anoxic*. Unit *pre-Anoxic* ini bertujuan untuk melengkapi proses penyisihan amonium, yaitu proses denitrifikasi. Unit *pre-Anoxic* berupa MBBR anaerob dapat dibuat dengan mengalih fungsikan unit pra-sedimentasi yang berada sebelum MBBR anaerob. Sehingga, tidak perlu membutuhkan lahan baru untuk pembangunan unit. Pada *pre-Anoxic* tidak dibutuhkan penambahan karbon karena sumber karbon berasal dari air baku yang masuk ke unit *pre-Anoxic*. Nitrat yang akan diolah pada unit *pre-Anoxic* berasal dari resirkulasi efluen MBBR aerob ke MBBR anaerob.

Desain Resirkulasi dan Instalasi

Unit MBBR anaerob dibangun dengan mengalihfungsikan unit pra-sedimentasi eksisting (Gambar 4). Dalam pembangunan unit MBBR anaerob, kedalaman bak perlu ditambah supaya waktu detensi dapat memenuhi kriteria desain dan meningkatkan kondisi anaerob di dalam bak. Influen dari unit ini berasal dari air sungai dan air resirkulasi. Perhitungan untuk detail desaian alih fungsi unit pra-sedimentasi menjadi unit MBBR anaerobik dapat dilihat pada Tabel 4. Aplikasi pretreatment dengan MBBR anaerobik tidak hanya dapat menyisihkan ammonium, akan tetapi dalam penelitian pretreatment dengan MBBR anaerob total nitrogen dapat disisihkan sebesar 80% (Kouba dkk., 2016).

Effluent unit MBBR anaerob di salurkan ke unit MBBR *aerobic*. Efluen pengolahan unit MBBR aerob diresirkulasi dan dilanjutkan ke instalasi pengolahan air minum (IPAM). *Effluent* unit MBBR aerob diresirkulasikan dengan tujuan untuk membawa nitrat yang akan diolah ke unit MBBR anaerob dan mendilusi konsentrasi amonium yang akan memasuki unit MBBR aerob. Kandungan nitrat ini dapat dikurangi dengan proses denitrifikasi dalam kondisi aerob.

Unit MBBR anaerob terdiri dari bak yang dilengkapi dengan media MBBR dan *mixer*. Media MBBR berfungsi sebagai tempat tumbuhnya bakteri dan membentuk

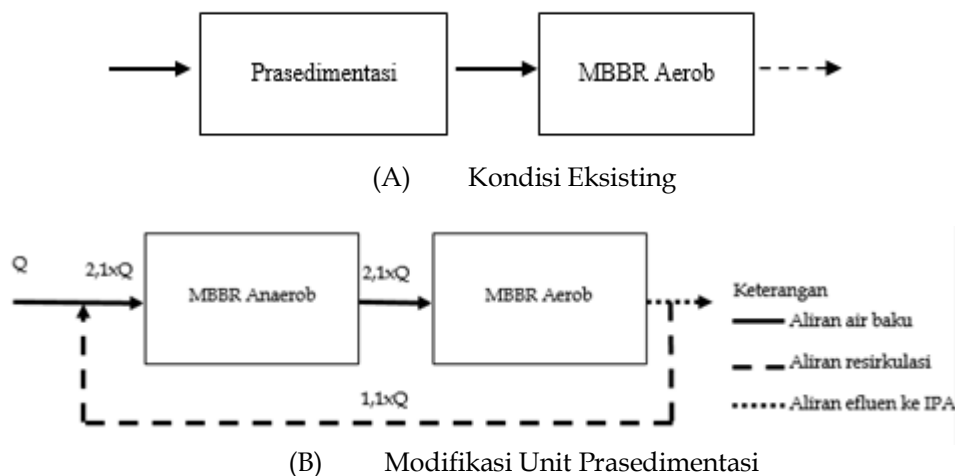
biofilm. Pada perancangan ini, media yang digunakan sebanyak 40% dari volume bak. Media MBBR ini akan terus melayang di dalam air, karena densitas media yang mirip dengan air. *Mixer* berfungsi sebagai pengaduk media MBBR. Pada bagian outlet bak MBBR, akan dilengkapi dengan *strainer* yang berfungsi mencegah media MBBR keluar dari bak. Gambar 4 menunjukkan proses resirkulasi yang digunakan. Pada Gambar 5, Gambar 6 dan Gambar 7 adalah desain MBBR anaerob yang direncanakan. Dalam penerapannya, unit MBBR anaerob tersebut akan memiliki sistem resirkulasi yang bertujuan membawa nitrat yang akan diolah ke unit MBBR anaerob dan mendilusi konsentrasi amonium yang akan diolah dengan unit MBBR aerob.

Ammonium yang terkandung pada air hasil olahan unit MBBR anaerob diperkirakan memiliki konsentrasi 1.05 mg.L^{-1} dengan efisiensi penyisihan sebesar 90%. Penurunan amonium ini diharapkan dapat mengoptimasi unit-unit dalam IPAM, terutama unit klorinasi yang dapat terganggu akibat tingginya konsentrasi amonium dalam air baku. Chen dkk., 2008 menyebutkan konfigurasi unit MBBR anerobik-aerobik dapat mendapatkan penyisihan amonium sebesar 97%. Laju penyisihan amonium dapat mencapai 2.17 g.L^{-1} hari dengan proses preanoksik (Sahariah & Chakraborty, 2011). Aplikasi proses nitrifikasi dengan modifikasi unit prasedimentasi menjadi MBBR Anaerob diharapkan dapat meningkatkan kualitas effluent air limbah dan menurunkan beban pengolahan IPAM. Pengolahan konvensional biasanya hanya mampu mengolah air limbah dengan beban organik (Suryawan dkk, 2020a) oleh karena itu pengolahan *hybrid* dengan proses nitrifikasi sangat diperlukan dalam reklamasi air limbah.

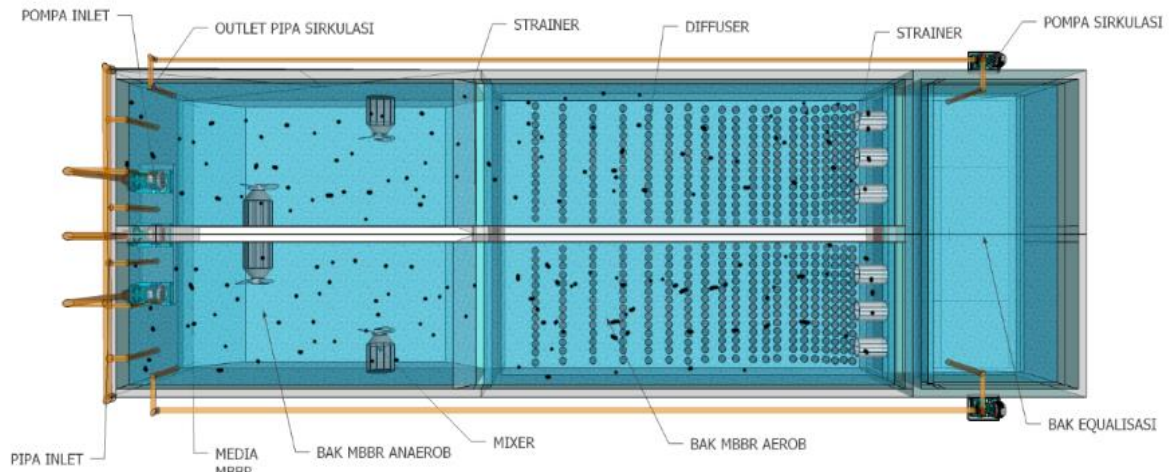
Berdasarkan hasil dan pembahasan dapat disimpulkan bahwa unit MBBR anaerob dibangun untuk meningkatkan efisiensi penyisihan amonium, dengan mengalihfungsikan unit pra-sedimentasi eksisting. Dimensi yang dibutuhkan untuk unit MBBR anaerob ini adalah dengan ukuran panjang 18 m, lebar 7 m, dan kedalaman 9.5 m.

Tabel 4. Hasil perhitungan parameter desain untuk unit MBBR aerob setelah unit pre-anoksik

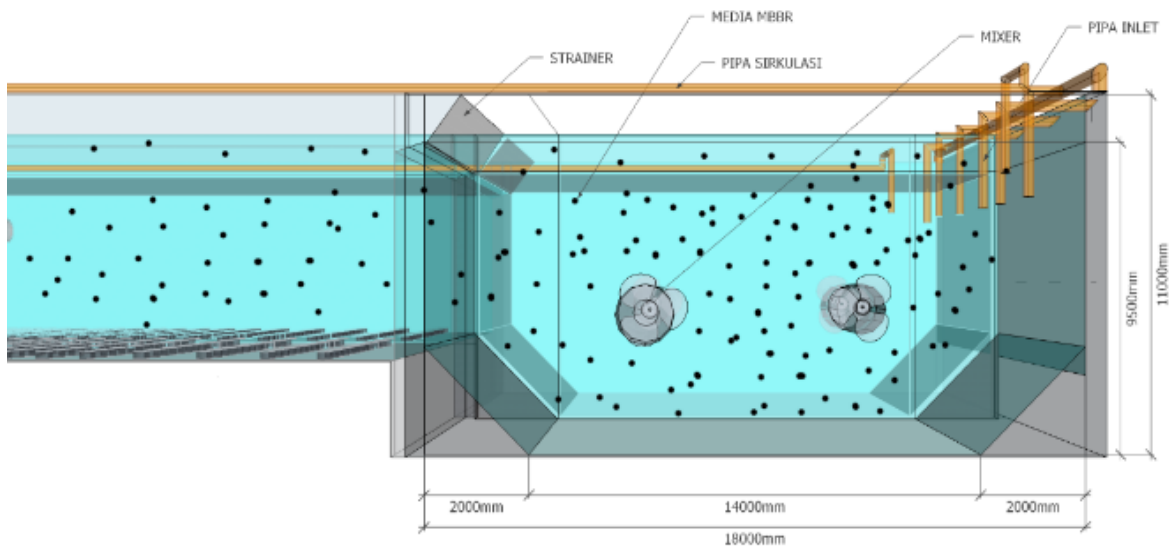
Parameter	Perhitungan
NH_4-N Daily Loading (NH_4-N DL)	$NH_4 - NDL = (16 \text{ mg. } L^{-1} \times 17280 \text{ m}^3 \cdot \text{hari}^{-1})$ $+ (3.5 \text{ mg. } L^{-1} \times 1.1 \times 17280 \text{ m}^3 \cdot \text{hari}^{-1})$ $NH_4 - NDL = 308448 \text{ g. hari}^{-1}$
Carrier Surface Area Needed (CSAN)	$CSAN = \frac{308448 \text{ g. hari}^{-1}}{2.44 \text{ g. m}^{-2} - \text{hari}}$ $CSAN = 126312 \text{ m}^2$
Calculated Carrier Volume (CCV)	$CCV = \frac{126312 \text{ m}^2}{660 \text{ m}^2 \cdot \text{m}^{-3}}$ $CCV = 191.38 \text{ m}^3$
Carrier Volume Existing (CVE)	$CVE = 808.5 \text{ m}^3 \times 40\%$ $CVE = 323.4 \text{ m}^3$
Tank Liquid Volume (TLV)	$TLV = 808.5 \text{ m}^3 - (323.4 \text{ m}^3 \times (1 - 60\%))$ $TLV = 679.14 \text{ m}^3$
HRT	$HRT = \frac{679.14 \text{ m}^3}{17280 \text{ m}^3 \cdot \text{hari}^{-1} + (1.1 \times 17280 \text{ m}^3 \cdot \text{hari}^{-1})} \times \frac{24 \times 60 \text{ menit}}{\text{hari}}$ $HRT = 26.95 \text{ menit}$
Bilangan Reynolds (Re)	$Dh = \frac{4 \text{ x kedalaman x lebar}}{(2 \text{ x kedalaman}) + \text{lebar}} = \frac{4 \times 9.5 \text{ m} \times 7 \text{ m}}{(2 \times 9.5 \text{ m}) + 7 \text{ m}} = 10.23 \text{ m}$ $Re = \frac{0.003289 \text{ m. s}^{-1} \times 10.23 \text{ m}}{0.000832 \text{ N. s. m}^{-2}} = 40.45$ $Re \leq 2300 \rightarrow \text{Aliran Laminar}$
Bilangan Froude (Fr)	$Fr = \frac{0.003289 \text{ m. s}^{-1}}{\sqrt{9.81 \text{ m. s}^{-2} \times 9.5 \text{ m}}} = 0.00034$ $Fr \leq 1 \rightarrow \text{Subkritis}$



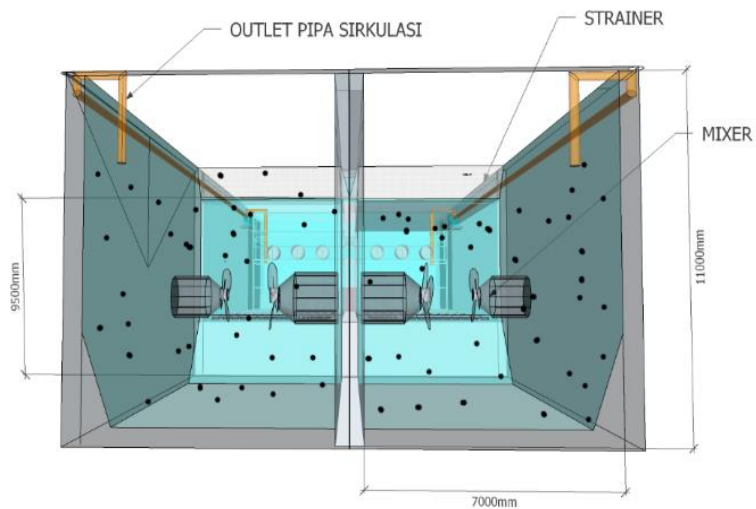
Gambar 4. Proses resirkulasi dari MBBR aerob ke MBBR anaerob



Gambar 5. Tampak atas instalasi pengambilan air baku



Gambar 6. Potongan memanjang unit MBBR anaerob



Gambar 7. Potongan melintang unit MBBR anaerob

DAFTAR PUSTAKA

- Apritama, M., Suryawan, I., Afifah, A. S., & Septiariva, I. Y. (2020). Phytoremediation of effluent textile wwtp for NH₃-N and Cu reduction using pistia stratiotes. *Plant Archives*, 20 (Supplement 1), 2384-2388.
- Basir, A., Nari, H. P., Syahril, S., & Arsyad, S. (2017). Analisis Kualitas air baku sistem reverse osmosis (RO) di engineering building kampus baru Politeknik Ilmu Pelayaran Makassar. *Venus*, 5(10), 9-22.
- Bengston, H. H. (2017). *MBBR Wastewater Treatment Processes*. SunCam.
- Bering, S., Mazur, J., Tarnowski, K., Janus, M., Mozia, S., & Morawski, A. W. (2018). The application of moving bed bio-reactor (MBBR) in commercial laundry wastewater treatment. *Science of the Total Environment*, 627, 1638-1643.
- Bertino, A. (2011). Study on one-stage partial nitrification-anammox process in moving bed biofilm reactors: a sustainable nitrogen removal.
- Borkar, R. (2013). Moving bed biofilm reactor - a new perspective in wastewater treatment. *IOSR Journal of Environmental Science, Toxicology and Food Technology*, 15-21.
- Brinkley, J. (2007). Moving Bed Biofilm Reactor Technology - A Full-scale Installation for Treatment of Pharmaceutical Waste.
- Chen, S., Sun, D., & Chung, J. S. (2008). Simultaneous removal of COD and ammonium from landfill leachate using an anaerobic-aerobic moving-bed biofilm reactor system. *Waste Management*, 28(2), 339-346.
- Gafur, A., Kartini, A. D., & Rahman, R. (2017). Studi kualitas fisik kimia dan biologis pada air minum dalam kemasan berbagai merek yang Beredar di Kota Makassar tahun 2016. *HIGIENE: Jurnal Kesehatan Lingkungan*, 3(1), 37-46.
- Hazmi, A., Desmiarti, R., Waldi, E. P., & Hadiwibowo, A. (2012). Penghilangan mikroorganisme dalam air minum dengan dielectric barrier discharge. *Jurnal Rekayasa ElektriKa*, 10(1), 1-4.
- Kouba, V., Widiayuningrum, P., Chovancova, L., Jenicek, P., & Bartacek, J. (2016). Applicability of one-stage partial nitrification and anammox in mbbf for anaerobically pre-treated municipal wastewater. *Journal of industrial microbiology & biotechnology*, 43(7), 965-975.
- Kuraray. (2018). *Water Treatment Technology*. Kuraray.
- Lu, M., Gu, L. P., & Xu, W. H. (2013). Treatment of petroleum refinery wastewater using a sequential anaerobic-aerobic moving-bed biofilm reactor system based on suspended ceramsite. *Water science and technology*, 67(9), 1976-1983.
- Metcalf & Eddy. (2003). *Wastewater Engineering : Treatment and Reuse, Fourth Edition, International Edition*. McGraw-Hill.
- Metcalf & Eddy. (2014). *Wastewater Engineering : Treatment and Resource Recovery*. McGraw-Hill Education.
- Persson, F., Suarez, C., Hermansson, M., Plaza, E., Sultana, R., & Wilén, B. M. (2017). Community structure of partial nitrification-anammox biofilms at decreasing substrate concentrations and low temperature. *Microbial biotechnology*, 10(4), 761-772.
- Sahariah, B. P., & Chakraborty, S. (2011). Kinetic analysis of phenol, thiocyanate and ammonia-nitrogen removals in an anaerobic-anoxic-aerobic moving bed bioreactor system. *Journal of Hazardous Materials*, 190(1-3), 260-267.
- Sawyer, C. N. (2003). *Chemistry for Environmental Engineering and Science*. Mc. Graw Hill Book Co.
- Suryawan, I. W., & Sofiyah, E. S. (2020). Cultivation of chlorella sp. and algae mix for NH₃-N and PO₄-P domestic wastewater removal. *Civil and Environmental Science Journal*, 3(1).
- Suryawan, I. W., Helmy, Q., & Notodarmojo, S. (2020a). Laboratory scale ozone-based post-treatment from textile wastewater treatment plant effluent for water reuse. *Journal of Physics: Conference Series*, 1456, 012002.
- Suryawan, I. W., Prajati, G., Afifah, A. S., & Apritama, M. R. (2020b). NH₃-N and COD reduction in Endek (Balinese textile) wastewater by activated sludge under different DO condition with

- ozone pretreatment. *Walailak Journal of Science and Technology (WJST)*.
- Suryawan, I. W., Prajati, G., Afifah, A. S., Apritama, M. R., & Adicita, Y. (2019). Continuous piggery wastewater treatment with anaerobic baffled reactor (ABR) by bio-activator effective microorganisms (EM4). *Indonesian Journal Of Urban And Environmental Technology*, 3(1), 1-12.
- Tarre, S., & Green, M. (2004). High-rate nitrification at low pH in suspended- and attached-biomass reactors. *Applied and Environmental Microbiology*, 70(11), 6481-6487.
- US EPA. (2019). *National Primary Drinking Water Regulations*. Diambil kembali dari EPA: <https://www.epa.gov/ground-water-and-drinking-water/national-primary-drinking-water-regulations>
- Wu, J., & Zhang, Y. (2017). Evaluation of the impact of organic material on the anaerobic methane and ammonium removal in a membrane aerated biofilm reactor (MABR) based on the multispecies biofilm modeling. *Environmental Science and Pollution Research*, 24(2), 1677-1685