

STUDI OPTIMASI PENGGUNAAN LAHAN BASAH TERAERASI UNTUK PENYISIHAN PADATAN TERLARUT PADA AIR TERPRODUKSI

OPTIMIZATION STUDY OF AERATED WETLAND FOR TOTAL DISSOLVED SOLID REMOVAL IN PRODUCED WATER

Kartika Laksmi Dwimerti¹ dan Marisa Handajani²

Program Studi Teknik Lingkungan, Fakultas Teknik Sipil dan Lingkungan

Institut Teknologi Bandung, Jl. Ganesha 10 Bandung 40132

¹meat_shoeslover@yahoo.com, ²marisa.handajani@ftsl.itb.ac.id

Abstrak: Air terproduksi merupakan produk sampingan dari proses produksi industri minyak dan gas. Kualitas air terproduksi beragam, namun secara umum memiliki konsentrasi *total dissolved solid* (TDS) yang relatif tinggi. Pada konsentrasi tinggi, *Total Dissolved Solid* (TDS) dapat menyebabkan perubahan rasa pada air, pengendapan mineral dan korosi. Teknologi *wetland* dapat menjadi alternatif pengolahan yang mudah diterapkan dan relatif murah. Penambahan aerasi diharapkan mampu meningkatkan efisiensi penyisihan TDS. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk melihat pengaruh penambahan aerasi pada *wetland*, waktu detensi/waktu tinggal yang optimum, dan penambahan *Cyperus nutans* yang digunakan sebagai vegetasi terhadap penyisihan TDS dan parameter lainnya. Sejauh ini, hasil penelitian menunjukkan bahwa penambahan aerasi dapat meningkatkan efisiensi penyisihan TDS dibandingkan dengan penelitian sejenis yang tidak menggunakan aerasi. Hasil penelitian menunjukkan bahwa efisiensi penyisihan TDS pada reaktor dengan penambahan aerasi lebih tinggi dibandingkan dengan reaktor yang diaerasi.

Kata kunci: Air terproduksi, Aerasi, *Total Dissolved Solid*, *Wetland*

Abstract: *Produced water is formed from oil and gas industry's production process. The quality of produced water is very diverse, depends on the type of oil, the soil, and many more. However, produced water has a similar characteristic, which is Total Dissolved Solid. In high concentration, Total Dissolved Solids can cause mineral sedimentation, and give a bitter taste in the water. Wetland provide an alternative solution to process the water. The adding of aeration might increase the removal efficiency of Total Dissolved Solid. The aim of the study is to observe the influence of the addition of wetland aeration, detention time, and also type of plant that used as vegetation. So far, the observation result that the addition of aeration can increase the removal efficiency of Total Dissolved Solid.*

Key words: aerated *wetland*, aeration, produced water, *Total Dissolved Solid*

1. PENDAHULUAN

Air terproduksi merupakan hasil sekunder dari proses separasi di dalam industri migas. Jumlah limbah air terproduksi cukup banyak karena pada saat proses pengambilan minyak mentah dan gas alam dari dasar bumi, komposisi antara air dan minyak bumi/gas alam lebih besar komposisi airnya. Air terproduksi mengandung campuran kombinasi dari: garam dan organik terlarut, butiran minyak yang terdispersi, senyawa organik terlarut, gas kimia terlarut, bakteri dan mikroorganisme lainnya, serta partikel padat terdispersi. Air terproduksi berpotensi mengandung zat bersifat toksik dan masih banyak mengandung minyak-lemak, senyawa-senyawa hidrokarbon (PAH), logam berat, klorida dan anion-anion, senyawa fenol, senyawa ammonia, dan lain-lain. Air terproduksi dapat diolah melalui berbagai metode baik secara fisika, kimia maupun biologi (Ahmadun et al., 2009).

Sebagai produk sampingan, air terproduksi yang dihasilkan biasanya diolah dengan *water disposal treatment* berupa injeksi air atau instalasi pengolah sebelum dibuang ke badan air. Pengolahan kimia dan fisika seringkali masih menyisakan lapisan minyak, warna, dan bau pada efluen sehingga diperlukan instalasi pengolahan air limbah yang mampu menyisihkan parameter-parameter buangan air terproduksi.

Untuk memenuhi tujuan tersebut pengolahan secara biologi dengan menggunakan *engineering wetland* maupun proses biologi lainnya atau kombinasi dari beberapa sistem pengolahan seringkali dilakukan untuk mengolah air terproduksi tersebut. *Engineering wetland* merupakan lahan basah buatan yang direkayasa sedemikian rupa untuk aplikasi remediasi air/tanah yang tercemar (Austin, 2009). Akan tetapi, penggunaan teknologi *engineering wetland* ini mempunyai batasan konsentrasi pencemar yang masuk sebelum diolah menggunakan teknologi tersebut. Oleh karena itulah, terkadang diperlukan *pre-treatment* terlebih dahulu sebelum air limbah itu dimasukkan ke dalam teknologi *engineering wetland*. *Engineering wetland* memiliki kelebihan dalam hal tingkat penggunaan energi yang rendah, dalam biaya operasional lebih rendah dibandingkan penginjeksian tradisional ke dalam sumur yang butuh banyak energi, dan memberikan keuntungan bagi ekosistem sekitarnya (Jackson dan Myers, 2002).

Proses yang terjadi dalam sistem *wetland* adalah filtrasi, absorpsi oleh mikroorganisme, dan absorpsi oleh akar-akar tanaman terhadap tanah dan bahan organik (Novotny dan Olem dalam DIMSUM, 2008). Dari beberapa studi yang dilakukan untuk mengolah air terproduksi dengan sistem constructed *wetland*, diketahui bahwa constructed *wetland* dapat menyisihkan diantaranya COD, BOD₅, mineral minyak, TKN (Ji et al., 2002), TDS, toksisitas (Murray-Gulde et al., 2003) dan logam berat (Kanagy et al., 2008).

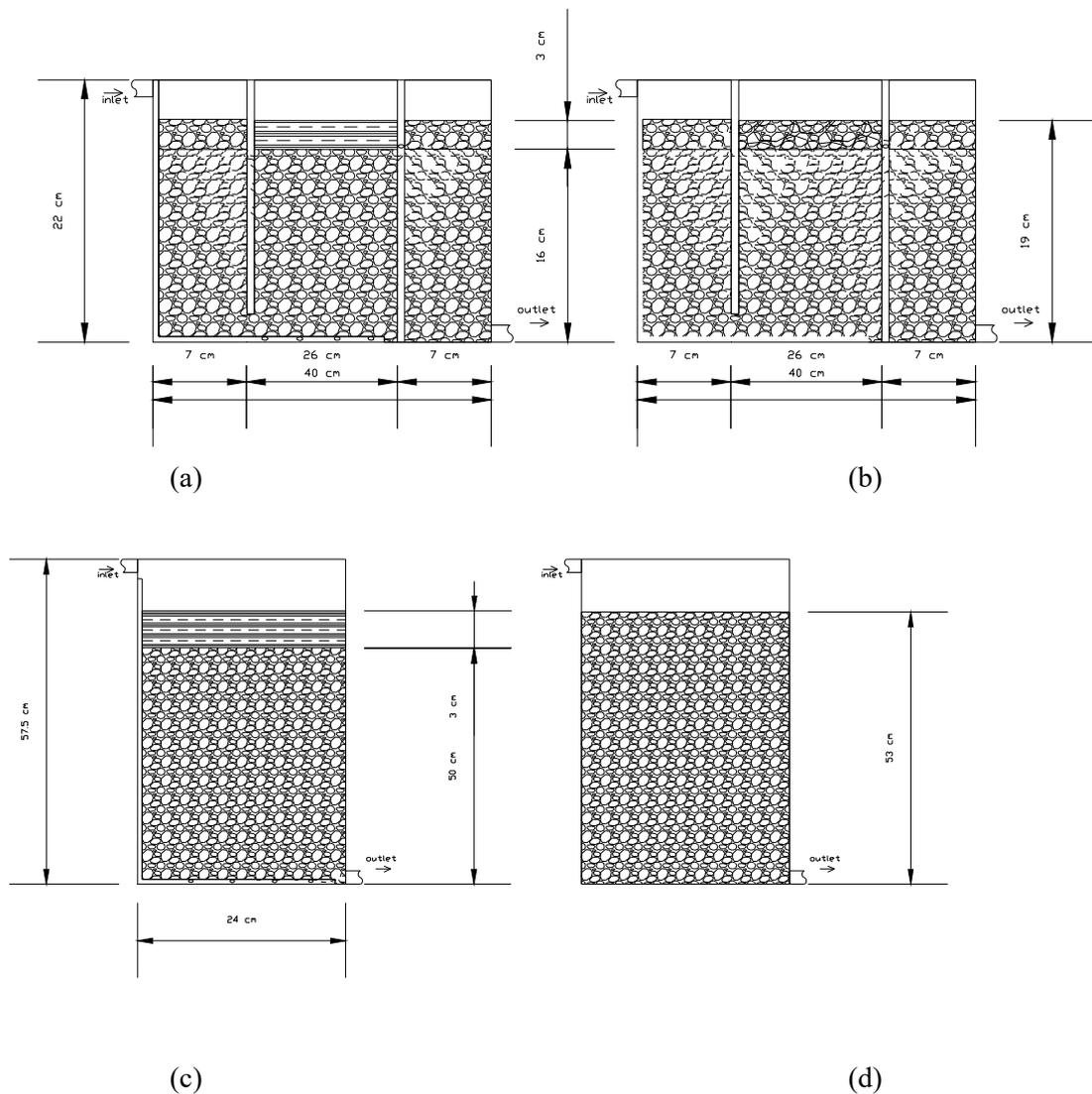
Salah satu permasalahan yang ada dalam air terproduksi ini adalah tingginya konsentrasi klorida dan anion-anion, atau lebih singkatnya disebut sebagai TDS. TDS dapat dikatakan sebagai gabungan zat terlarut (baik itu zat organik maupun anorganik, mis : garam, dll) yang terkandung pada suatu larutan. Penelitian ini akan difokuskan pada masalah pengurangan konsentrasi TDS di dalam air terproduksi dengan menggunakan teknologi *wetland*. Untuk dapat dilepaskan ke lingkungan, maka TDS harus dapat memenuhi baku mutu pemerintah yang berlaku PerMenLH no.4 tahun 2007, yakni 4000 mg/L. Untuk mendapatkan vegetasi lokal dan memahami kondisi eksisting lapangan dilakukan penyesuaian atau adaptasi. Karakteristik air terproduksi dapat dilihat pada **Tabel 1**.

Tabel 1. Karakteristik air terproduksi berdasarkan PERMENLH no.4 tahun 2007

No.	Parameter	Metode pengukuran	PermenLH no.4/2007	Analysist result
1	TDS	SNI-06-6989.27-2005	4000 mg/L	18900
2	pH	SNI-06-6989.11-2004	6 – 9	6,04
3	Temperature	SNI-06-6989.23-2005	40 C	33,5
4	Penol	SNI-06-6989.21-2005	2 mg/L	0,015
5	Amonia	SNI-06-6989.30-2005	5 mg/L	21,35
6	H2S	SNI-06-2470-1991	0.5 mg/L	2,034
7	COD	SNI-06-6989:2-2004	200 mg/L	67,76
8	Oil-Grease	SNI-06-6989.10-2004	25 mg/L	4,2

2. METODOLOGI

Preparasi reaktor; reaktor yang akan digunakan akan dibuat dengan skala laboratorium. Pada penelitian kali ini, digunakan 2 bentuk reaktor yaitu bentuk kotak (2 buah) dan silinder (2 buah). Total reaktor yang digunakan berjumlah 4 buah. Reaktor yang digunakan akan menggunakan sistem satu tingkat. Sistem pengaliran yang digunakan adalah *subsurface horizontal system*. Variasi yang digunakan salah satunya adalah perbandingan antara volume dengan luas permukaan reaktor yang digunakan. Untuk mengetahui pengaruh aerasi, pada awal percobaan terdapat reaktor yang tidak menggunakan aerasi, dan digunakan sebagai kontrol. Selain untuk melihat pengaruh aerasi pada proses penyisihan TDS, diobservasi pula pengaruh vegetasi untuk penyisihan parameter yang sama. Vegetasi yang digunakan adalah *Cyperus nutans*, yang merupakan tumbuhan asli yang biasa dikenal dengan nama djukut bekutan dari daerah penghasil air terproduksi. Potongan reaktor dapat dilihat pada **Gambar 1**.

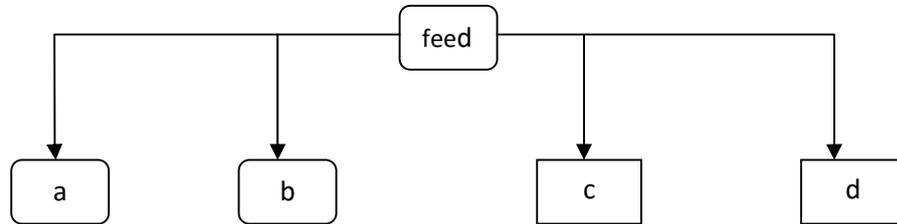


Gambar 1. Potongan memanjang reaktor (a) A'/V 0,025 bervegetasi; (b) A'/V 0,025 non vegetasi; (c) A'/V 0,05 bervegetasi; (d) A'/V 0,05 non vegetasi

Running reaktor; pada saat mengoperasikan reaktor dilakukan secara bertahap sesuai dengan variasi yang telah dipilih dengan air terproduksi yang diencerkan sebagai umpan. Variasi yang dilakukan antara lain adalah konsentrasi air yang akan diolah, perbandingan volume-luas permukaan yaitu 0,025 dan 0,05, dan vegetasi *Cyperus nutans*. Konsentrasi TDS pada air terproduksi yang akan diolah dimulai dengan konsentrasi sebesar 5000 mg/L dan dilanjutkan 10000 mg/L.

Pengenceran air terproduksi dilakukan dengan mencampurkan air terproduksi dengan aquades. Untuk 10 L air terproduksi dengan konsentrasi TDS 5000 mg/L dicampurkan 4 L air terproduksi dengan 6 L aquades. Untuk 10 L air terproduksi dengan konsentrasi 10000 mg/L, 7 L air terproduksi dicampur dengan 3 L aquades. Konsentrasi yang diolah akan meningkat secara bertahap (Myers,2003), hal ini bertujuan untuk mengadaptasikan dan menstabilkan kinerja reaktor yang digunakan. Debit pengaliran harus tetap dijaga dengan melakukan pengukuran debit setiap harinya.

Dilakukan penambahan bakteri yang berasal dari lumpur IPAL Bojong Soang setiap awal variasi percobaan. Penambahan bakteri diberikan sebanyak 2,5% dari volume reaktor yang akan diberi seeding. Skema pemasangan reaktor dapat dilihat pada **Gambar 2**. Variasi penelitian dapat dilihat pada **Tabel 2**.



Gambar 2. Skema pemasangan reaktor; (a) A'/V 0,025 bervegetasi; (b) A'/V 0,025 non vegetasi; (c) A'/V 0,05 bervegetasi; (d) A'/V 0,05 non vegetasi

Tabel 2. Variasi percobaan

Variasi	Running 1				Running 2			
	a	b (kontrol)	c	d (kontrol)	a	b(kontrol)	c	d(kontrol)
td	3 hari	3 hari	3 hari	3 hari	3 hari	3 hari	3 hari	3 hari
A'/V	0.025	0.025	0.05	0.05	0.025	0.025	0.05	0.05
Konsentrasi TDS (mg/L)	5000	5000	5000	5000	10000	10000	10000	10000
aerasi	+	-	+	-	+	-	+	-
Vegetasi	+	-	+	-	+	-	+	-

Sampling; sampel yang keluar dari outlet keempat reaktor diambil setiap harinya. Pengambilan sampel dilakukan setiap pukul 8 pagi dan 2 siang, kecuali pada akhir minggu hanya dilakukan satu kali. Pengamatan dilakukan setiap hari selama percobaan dilakukan. Hal-hal yang dikontrol setiap harinya adalah debit (dan kesetimbangan air antara *inflow* dan *outflow*) dan kinerja reaktor itu sendiri. Pengamatan kondisi tanaman *Cyperus nutans* juga dilakukan, terlihat segar atau layu. Parameter kualitas air yang diamati selama periode percobaan adalah TDS, suhu, pH (harian); NH_3 , H_2S , Fenol, COD (awal dan akhir percobaan).

Pengukuran kualitatif air outlet; setelah sampling selesai dilakukan maka akan dilakukan pengukuran untuk mengetahui kinerja reaktor serta efektivitas variasi yang dilakukan. Pengukuran dilakukan setiap dua kali sehari, mengikuti jadwal sampling per harinya. Dari hasil pengukuran akan didapat satu arah kesimpulan mengenai kinerja reaktor dan variasi yang paling tepat untuk mengolah air terproduksi. Untuk air artificial, parameter yang diukur hanyalah TDS, temperatur, dan pH. Berbeda dengan air limbah asli, dimana parameter yang diperiksa sesuai dengan KepmeLH. Jika kondisi sudah tunak (*steady state*), dimana nilai TDS sudah konstan, maka akan dilakukan analisa sampel secara menyeluruh untuk COD, sulfida terlarut, ammonia, total fenol, temperatur, pH dan TDS sesuai dengan parameter yang tertuang pada PerMenLH no.4 tahun 2004 yang digunakan sebagai acuan untuk kualitas air terproduksi. Pengukuran TDS dilakukan dengan mengkonversikan hasil yang terbaca pada DHL meter (Daya Hantar Listrik) dengan faktor koreksi yang didapat dari kurva kalibrasi pada grafik DHL dengan gravimetri.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

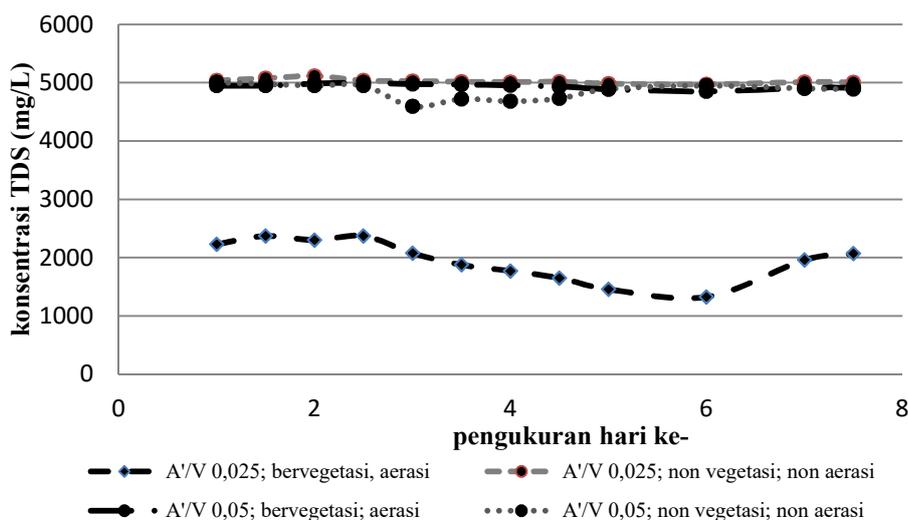
Pada variasi pertama yang diuji coba digunakan air *terproduksi* yang diencerkan. Variasi yang diuji coba antara lain adalah konsentrasi TDS 5000 mg/L dengan waktu detensi 3 hari. Variasi pertama dilakukan untuk mengobservasi pengaruh penggunaan aerasi pada sistem *wetland*. Pada empat reaktor yang digunakan, hanya dua reaktor yang menggunakan aerator, yaitu reaktor berbentuk kotak dengan vegetasi dan reaktor berbentuk silinder dengan vegetasi.

Air yang digunakan sebagai feeding adalah air terproduksi yang diencerkan dengan konsentrasi TDS 5000 mg/L. Parameter yang dianalisa pada variasi ini TDS, temperatur, COD, fenol, NH₃ dan H₂S. Pada percobaan kali ini ditambahkan bakteri yang berasal dari lumpur IPAL Bojong Soang pada awal percobaan. Hasil pengolahan pada variasi konsnetrasi TDS 5000 mg/L dapat dilihat pada **Gambar 3** dan **Tabel 3**.

Tabel 3. Hasil pengukuran TDS pada variasi konsentrasi TDS 5000 mg/L dan td 3 hari

hari ke-	TDS inlet	TDS outlet (mg/L)			
	(mg/L)	A'/V 0,025; vegetasi; aerasi	A'/V 0,025; non vegetasi; non aerasi	A'/V 0,05; vegetasi; aerasi	A'/V 0,05; non vegetasi; non aerasi
1	5027	2227,5	5038	4950	5005
		2370,5	5076,5	4950	4977,5
2		2299	5115	4984	4950
		2370,5	5038	4999,5	4950
3		2073,5	5029	4977,5	4592,5
		1875,5	5016	4966,5	4719
4		1771	5010,5	4955,5	4680,5
		1650	5016	4933,5	4730
5		1457,5	4985	4889,5	4889,5
6		1325,5	4972	4851	4950
7		1958	5010,5	4911,5	4900,5
		2068	5005	4917	4889,5

Dari hasil pengukuran terlihat bahwa kinerja reaktor yang paling optimal untuk menyisihkan TDS adalah reaktor berbentuk kotak dengan rasio luas permukaan dan volume (A'/V) 0,025; menggunakan aerasi; dan bervegetasi. Dari **Gambar 3** terlihat bahwa reaktor yang menggunakan aerasi menunjukkan kinerja yang lebih baik dibandingkan dengan reaktor yang tidak menggunakan aerasi. Pada reaktor dengan rasio luas permukaan dan volume (A'/V) 0,025; menggunakan aerasi; dan bervegetasi, penyisihan tertinggi yang dapat dicapai adalah sebesar 73,6% dengan konsentrasi TDS sebesar 1325,5 mg/L.



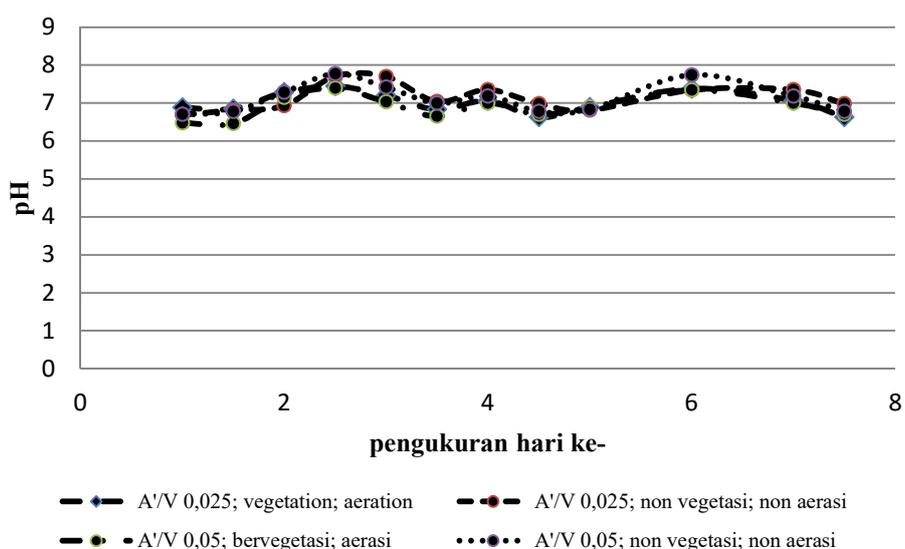
Gambar 3. Konsentrasi TDS outlet pada variasi konsentrasi TDS 5000 mg/L

Sementara kinerja reaktor yang tidak menggunakan aerasi tidak optimal untuk menyisihkan *total dissolved solid*. Dengan penggunaan aerasi proses pengolahan air dapat lebih dimaksimalkan. Udara yang dikeluarkan oleh aerator akan mengoptimalkan air yang masuk dari zona inlet untuk lebih didistribusikan diantara celah-celah media (kerikil). Dengan demikian luas permukaan pengolahan yang tersedia akan semakin besar, hasilnya proses pengolahan (filtasi) yang dilakukan oleh media penyaring (kerikil) akan lebih maksimal. Padatan terlarut akan menempel pada permukaan media kerikil sehingga kualitas outlet pengolahan akan semakin baik (Tarigan dan Edward, 2003). Zat terlarut akan diserap oleh akar tanaman kemudian dijadikan salah satu bahan untuk metabolisme tanaman sebagai organisme autotrof. Penambahan bakteri memberikan pengaruh yang cukup signifikan dimana pada reaktor yang tidak diberi tambahan vegetasi menunjukkan kinerja penyisihan yang hampir sama dengan reaktor yang diberi vegetasi. Padatan terlarut akan digunakan bakteri untuk diubah menjadi energi pada proses metabolismenya. Padatan terlarut dapat terserap maupun terdifusi ke dalam sel bakteri (Tarigan dan Edward, 2003).

Reaktor berbentuk kotak memiliki ukuran 40 cm x 28 cm x 22 cm. Volume pada reaktor ini mendekati 25 L. Pada reaktor berbentuk kotak luas permukaan (A') sebesar 616 cm². Maka rasio antara luas permukaan dan volume (A'/V) adalah sebesar 0,025. Reaktor berbentuk silinder memiliki ukuran panjang 57,5 cm dan diameter 24 cm. Luas permukaan pada reaktor silinder (A') adalah 1380 cm². Maka rasio antara luas permukaan dengan volume (A'/V) adalah sebesar 0,05. Terlihat dari hasil percobaan, reaktor yang memiliki rasio A'/V 0,025 menunjukkan hasil pengolahan yang lebih baik. Dengan kedalaman reaktor yang lebih besar tidak selalu membuat hasil percobaan menjadi lebih optimal, karena dengan tingkat kedalaman yang lebih besar terdapat potensi *dead zone* yang mengakibatkan aerasi tidak tersebar merata sehingga air tidak dapat terolah secara maksimal (Austin, 2009).

Tabel 4. Hasil pengukuran senyawa organik pada konsenrasi TDS 5000 mg/L

reaktor		amonia		fenol		H ₂ S		COD makro (mg/L)
		Å	NH ₃ (mg/L)	T transmitan	fenol (mg/L)	T transmitan	H ₂ S(mg/L)	
inlet	feeding	0,068	0,757	99,00	<0.01	94	0,353844	133,002
outlet	A'/V 0,025; bervegetasi	0,052	0,643	>100	<0.001	94	0,353844	78,816
	A'/V 0,025; non vegetasi	0,07	0,771	>100	<0.001	94	0,353844	108,372
	A'/V 0,05; bervegetasi	0,063	0,721	>100	<0.001	95	0,296325	113,298
	A'/V 0,05; non vegetasi	0,061	0,707	>100	<0.001	95	0,296325	128,076



Gambar 4. Pengukuran pH pada variasi konsentrasi TDS 5000 mg/L

Rentang pH yang diperbolehkan untuk karakteristik air terproduksi ini adalah 6-9, terlihat pada **Gambar 4** hasilnya memenuhi kriteria pengukuran yang diperbolehkan. Pada rentang pH 6-9 merupakan pH yang cukup ideal untuk aktivitas bakteri dan sesuai dengan vegetasi yang digunakan. Tanaman *Cyperus nutans* memiliki pH ideal untuk tumbuh pada rentang pH 6-8 (Murray-Gulde et al., 2003). Kinerja reaktor mulai stabil/tunak setelah hari kedua atau ketiga percobaan dilakukan. Hal ini terlihat dengan penurunan pencemar yang realtif menerus.

Pada parameter NH₃, terjadi peningkatan konsentrasi NH₃ pada reaktor berbentuk kotak dengan A'/V 0,025 non vegetasi. Hal ini dapat diakibatkan oleh kondisi di reaktor yang tidak diberi tambahan aerasi sehingga bakteri yang berada dalam reaktor tidak bekerja optimal. Dapat pula terjadi proses denitrifikasi oleh bakteri nitrifikasi, sehingga

terbentuk senyawa $\text{NH}_3\text{-N}$ yang dapat terionisasi menjadi senyawa $\text{NH}_4\text{-N}$ (Tarigan dan Edward, 2003). Untuk parameter fenol dan H_2S hasilnya relatif kecil, sehingga dapat diabaikan. Untuk parameter fenol sendiri hampir tidak terdeteksi pada outlet dari seluruh reaktor yang mendekati nol. Sementara untuk parameter H_2S , tidak mengalami penurunan yang signifikan namun tetap berada pada konsentrasi H_2S yang diperbolehkan yaitu 0,5 mg/L (PerMenLH/4/2007).

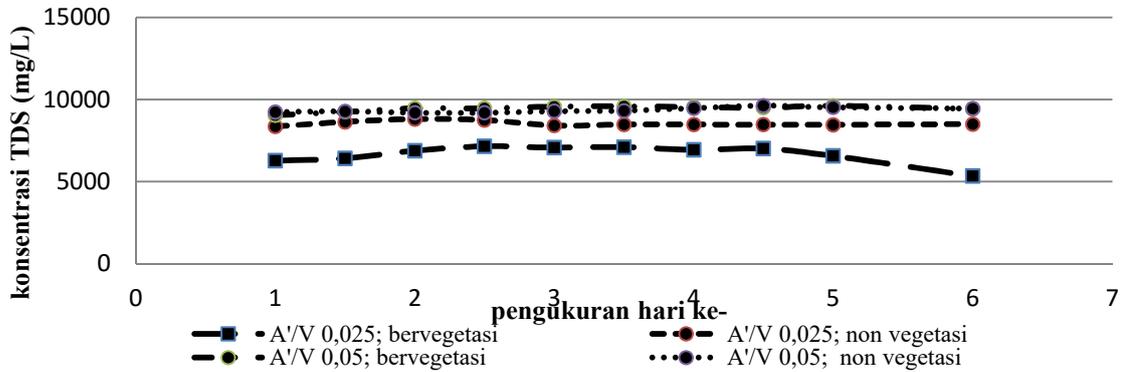
Semakin tinggi bahan organik dalam air menyebabkan kandungan oksigen terlarut semakin kecil, karena oksigen digunakan oleh mikroba untuk mengoksidasi bahan organik. Adanya bahan organik tinggi dalam air menyebabkan kandungan oksigen terlarut semakin kecil, karena oksigen digunakan oleh mikroba untuk mengoksidasi bahan organik. Adanya bahan organik tinggi dalam air menyebabkan kebutuhan mikroba akan oksigen akan meningkat, yang diukur dari nilai BOD yang meningkat. Penambahan aerasi akan meningkatkan kandungan oksigen terlarut dalam reaktor, hal ini akan meningkatkan aktivitas bakteri dalam menggunakan zat padat terlarut sebagai salah satu bahan untuk metabolisme bakteri. Dengan demikian proses perombakan padatan terlarut akan semakin cepat (Tarigan dan Edward, 2003). Hasil pengukuran parameter COD pada keempat reaktor memenuhi kualitas air terproduksi pada PermenLH no.4/2007, dimana konsentrasi COD maksimum adalah 200 mg/L.

Variasi yang kedua adalah variasi konsentrasi TDS 10000 mg/L dengan waktu detensi 3 hari. Air yang digunakan sebagai feeding kali ini adalah air terproduksi yang diencerkan hingga konsentrasi TDS 10000 mg/L. Peningkatan konsentrasi TDS secara bertahap diharapkan mampu menstabilkan kinerja reaktor yang digunakan, serta mengadaptasikan komponen pendukung sistem *wetland* yang digunakan. Pada variasi konsentrasi TDS 1000 mg/L ini ditambahkan bakteri yang berasal dari lumpur IPAL Bojong Soang untuk meningkatkan proses penyisihan TDS, karena air yang digunakan sebagai feeding merupakan air terproduksi yang diencerkan sehingga mengandung senyawa organik yang dapat diuraikan oleh bakteri. Hasil pengolahan air terproduksi yang diuji coba dengan variasi konsentrasi TDS 10000 mg/L dapat dilihat pada **Tabel 5** dan **Gambar 5**.

Tabel 5. Hasil pengukuran TDS pada variasi konsentrasi TDS 10000 mg/L dan td 3 hari

hari ke-	TDS inlet (mg/L)	TDS outlet (mg/L)			
		A/V 0,025; bervegetasi	A/V 0,025; non vegetasi	A/V 0,05; bervegetasi	A/V 0,05; non vegetasi
1	10285	6270	8360	9047,5	9234,5
1,5		6418,5	8635	9245,5	9278,5
2		6880,5	8811	9471	9196
2,5		7150	8750,5	9460	9190,5
3		7073	8415	9570	9284
3,5		7100,5	8481	9586,5	9317
4		6935,5	8475,5	9542,5	9471
4,5		7007	8470	9498,5	9625
5		6563	8464,5	9614	9520,5
6		5335	8503	9421,5	9454,5

Dengan beban pengolahan yang meningkat, efisiensi pengolahan lebih kecil dibanding dengan efisiensi pengolahan pada variasi konsentrasi TDS 5000 mg/L. Terlihat pada **Gambar 5**, kinerja reaktor yang paling optimal adalah reaktor kotak dengan rasio A'/V 0,025; dengan tambahan aerasi dan vegetasi. Efisiensi tertinggi yang dapat dicapai pada percobaan dengan variasi kedua ini sebesar 48,12% dengan konsentrasi TDS sebesar 5335 mg/L.



Gambar 5. Pengukuran TDS pada variasi konsentrasi TDS 10000 mg/L

Uji coba dengan variasi konsentrasi TDS 10000 mg/L ini dapat mengobservasi pengaruh penambahan bakteri dan penggunaan vegetasi untuk penyisihan TDS dan zat organik lain yang terkandung pada air terproduksi. Apabila dibandingkan antara sesama reaktor yang berbentuk kotak, keduanya diberi tambahan bakteri tetapi hanya satu reaktor yang diberi vegetasi. Terlihat bahwa efisiensi penyisihan TDS pada reaktor yang diberi vegetasi dan tambahan bakteri lebih tinggi, tetapi pada reaktor yang tidak ditambahkan vegetasi memiliki efisiensi penyisihan yang cukup baik. Sehingga dapat dikatakan bahwa baik vegetasi maupun penambahan bakteri dapat meningkatkan kinerja reaktor dalam menyisihkan TDS.

Parameter lainnya yang dianalisa pada variasi kedua adalah nitrogen dalam bentuk NH_3 , Fenol, sulfur dalam bentuk H_2S , dan COD (makro). Hasil pengukuran parameter tersebut dapat dilihat pada **Tabel 6**. Parameter ini merupakan senyawa organik yang terkandung pada air terproduksi yang telah diencerkan, berbeda dengan air *artificial* yang tidak memiliki kandungan organik di dalamnya. Pengukuran parameter organik ini dilakukan setiap awal dan akhir periode running reaktor.

Tabel 6. Hasil pengukuran senyawa organik pada variasi konsentrasi TDS 10000 mg/L

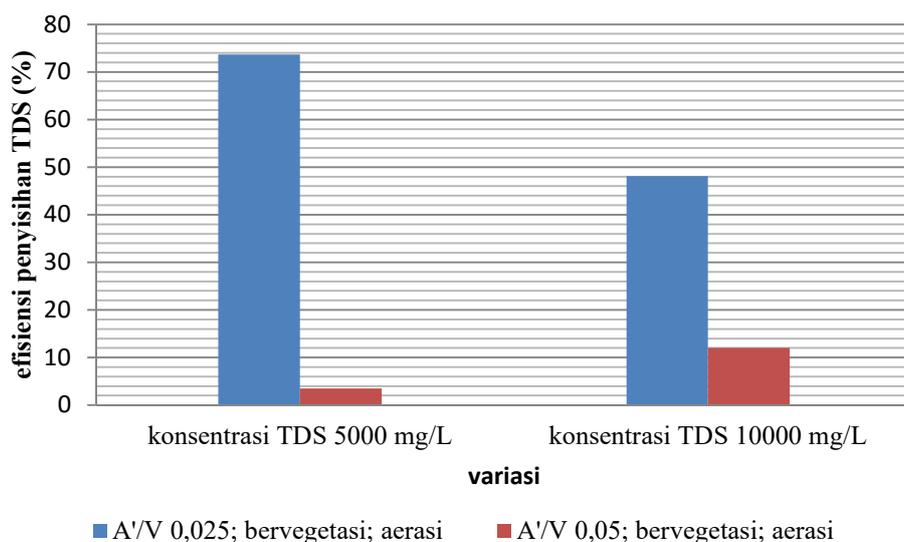
reaktor		amonia		fenol		H ₂ S		COD makro (mg/L)
		À	NH ₃ (mg/L)	T transmitan	fenol (mg/L)	T transmitan	H ₂ S(mg/L)	
inlet	feeding	0,464	7,134	99	<0.01	94	0,3538441	354,672
outlet	A'/V 0,025; bervegetasi	0,119	2,237	>100	<0.001	94	0,3538441	118,224
	A'/V 0,025; non vegetasi	0,121	2,265	>100	<0.001	95	0,2963253	295,56
	A'/V 0,05; bervegetasi	0,091	1,84	>100	<0.001	95	0,2963253	334,968
	A'/V 0,05; non vegetasi	0,112	2,138	>100	<0.001	95	0,2963253	256,152

Pada analisa nitrogen dalam bentuk NH_3 , terlihat penurunan yang cukup signifikan pada outlet dari keempat reaktor. Konsentrasi NH_3 pada air terproduksi awal sebelum diolah adalah sebesar 7,134 mg/L. Rata-rata penyisihan NH_3 pada ketiga reaktor lainnya memiliki efisiensi penurunan yang hampir sama besar yaitu sekitar 54%. Pada percobaan kali ini tidak terjadi kenaikan konsentrasi amonia seperti pada percobaan sebelumnya. Hal ini menunjukkan bahwa bakteri nitrifikasi mengubah amonia yang merupakan sumber makanan bakteri nitrifikasi menjadi nitrit, kemudian diubah kembali menjadi nitrat yang akan diserap oleh akar tanaman sebagai salah satu bahan untuk metabolisme tanaman (Ji et al., 2002).

Pada analisa fenol yang dilakukan, hasil yang didapatkan cukup baik dimana untuk outlet dari semua reaktor konsentrasi fenol yang terkandung sudah sangat kecil sekali sehingga dapat diabaikan. Pada outlet, konsentrasi fenol hampir mendekati nol. Pada dasarnya kandungan fenol dalam air terproduksi memang relatif rendah.

Pada analisa H_2S , penurunan yang terjadi tidak terlalu besar, walaupun hasilnya masih di bawah baku mutu yang berlaku. Konsentrasi H_2S pada air terproduksi (feeding) tidak mengalami penurunan yang berarti setelah dilakukan pengolahan dengan *wetland*. Konsentrasi H_2S , baik pada air terproduksi maupun pada outlet dari keempat reaktor berada pada kisaran 0,3 – 0,35 mg/L, yang mana memenuhi baku mutu yang berlaku.

Pada variasi konsentrasi TDS 5000 mg/L ini, kinerja reaktor yang paling baik untuk menyisihkan COD adalah reaktor dengan rasio A'/V 0,025; bervegetasi, dengan aerasi. Dimana efisiensi penurunan parameter COD yang terjadi adalah sebesar 67%. Berbeda dengan ketiga reaktor lainnya yang mencapai efisiensi penurunan COD lebih rendah. Penambahan aerasi, bakteri, dan vegetasi terbukti dapat meningkatkan kinerja reaktor dalam mengolah air terproduksi, terutama untuk penyisihan total dissolved solid. Dengan demikian kualitas air terproduksi yang dihasilkan diharapkan dapat semakin baik sebelum dibuang ke badan air penerima, sehingga semakin ramah lingkungan.



Gambar 6. Perbandingan antara rasio A'/V 0,025 dan A'/V 0,05 untuk penyisihan TDS

Dari dua variasi yang dilakukan terlihat pada **Gambar 6**, bahwa reaktor dengan rasio luas permukaan dan volume (A'/V) 0,025 mencapai efisiensi penyisihan TDS yang lebih tinggi dibandingkan reaktor dengan rasio A'/V 0,05. Pada reaktor dengan rasio A'/V 0,05 memiliki kedalaman yang lebih besar, namun hal ini berpotensi menimbulkan dead zone yang akan membuat proses pengolahan air terproduksi tidak merata. Efisiensi penyisihan TDS yang dapat dicapai oleh reaktor dengan rasio A'/V 0,025 berada di atas 70%, sementara pada reaktor dengan rasio A'/V 0,05 mencapai efisiensi penyisihan di bawah 10%.

Hal lainnya yang mempengaruhi hasil percobaan yang telah dilakukan adalah variasi konsentrasi. Dengan beban pengolahan TDS yang lebih rendah yaitu 5000 mg/L, efisiensi reaktor dengan rasio A'/V 0,025 relatif tinggi. Tetapi teknologi *wetland* ini juga mampu mengolah beban pengolahan TDS yang mencapai 2 x lipat dari variasi konsentrasi TDS pertama yaitu 10000 mg/L. Capaian efisiensi penyisihannya memang lebih rendah namun hal ini membuktikan bahwa teknologi ini memiliki batasan konsentrasi TDS yang masuk cukup tinggi. Hal ini akan mempengaruhi pengaturan konsentrasi TDS yang akan diolah, apabila teknologi ini diterapkan untuk skala lapangan. Sejauh ini, dari dua variasi konsentrasi TDS yang telah dilakukan pengolahan awal (pre treatment) belum dibutuhkan karena sistem *wetland* masih dapat mengolah air terproduksi hingga konsentrasi TDS 10000 mg/L.

4. KESIMPULAN

Penyisihan parameter TDS dengan menggunakan *aerated wetland* memiliki potensi untuk berkembang menjadi salah satu alternatif pengolahan air terproduksi yang berasal dari proses produksi minyak dan gas. Dari variasi konsentrasi yang dilakukan terlihat bahwa penambahan aerasi, penambahan vegetasi, dan penambahan bakteri memberi pengaruh yang signifikan dalam menyisihkan *total dissolved solid* yang terkandung pada air terproduksi. Rasio A'/V 0,025 memberikan hasil penelitian yang lebih optimal dibandingkan dengan rasio A'/V 0,05 pada reaktor yang digunakan. Dengan penambahan aerasi luas permukaan pengolahan yang tersedia dapat diperbesar sehingga kualitas outlet hasil pengolahan akan semakin maksimal. Pengaplikasian *wetland* ini memiliki keunggulan antara lain biayanya relatif murah, pengoperasiannya mudah, dan efisiensi penyisihannya cukup tinggi.

DAFTAR PUSTAKA

- Ahmadun, F A, A Pendashteh, L C Abdullah, D R A Biak, S S Madaeni, dan Z Z Abidin. (2009). *Review of technologies for oil and gas produced water treatment*. Journal of Hazardous Materials 170: 530-551
- Austin, David P.E.2000. *Advanced Treatment Wetlands: A 4th Generation Technology*. Minnesota: North American Wetland Engineering White Bear Lake, USA. Water Research 39: 415-423
- L.M. Jackson dan J. E. Myers. (2002). *Evaluation of Subsurface Flow Wetlands vs. Free-water Surface Wetlands Treating NPR-3 Produced Water – Year No. 2*.

- Rocky Mountain Oilfield Testing Center (RMOTC). *Water Research* 34: 715-719
- Kanagy L E, B M Johnson, J W Castle, J H Rodgers Jr. (2008). *Design and performance of a pilot-scale constructed wetland treatment system for natural gas storage produced water*. *Bioresource Technology* 99: 1877-1885
- Moshiri, Gerald A. 1993. *Constructed wetlands for water quality improvement*. Florida: CRC Press Inc.
- Murray-Gulde, Cynthia, J E Heatley, T Karanfil, J H Rodgers Jr, J E Myers. (2003). *Performance of a hybrid reverse osmosis-constructed wetland treatment system for brackish oil field produced water*. *Water Research* 37: 705-713
- Prosep. (2010). *Produced Water Treatment: Selecting the Right Equipment for Your Application*.
Online: <http://www.ngoilgas.com/article/Produced-Water-Treatment-Selecting-the-Right-Equipment-for-Your-Application/>
- Tarigan dan Edward.2003. *Kandungan Total Zat Padat Tersuspensi di Perairan Raha*.Makara Sains Vol.7 Halaman 73-78.