

## Perkembangan Teknologi Pengolahan Air Limbah Rumah Potong Hewan (RPH) : *Overview*

Budiyono<sup>1,2</sup>, I Nyoman Widiasa<sup>2</sup>, and Sunarso<sup>1</sup>

<sup>2</sup>Jurusan Teknik Kimia Fak. Teknik Universitas Diponegoro Semarang  
Jl. Prof. Sudarto, SH No. 1 Tembalang Semarang Telp. (024) 746 00 58  
E-mail : budhi\_66@tekim.fti.undip.ac.id

<sup>1</sup>Program Doktor Ilmu Ternak Program Pascasarjana Universitas Diponegoro Semarang  
Jl. Imam Bardjo, SH No. 5 Semarang

### Abstrak

*Rumah Potong Hewan (RPH) merupakan salah satu industri yang mengeluarkan limbah cair dalam jumlah besar. Upaya untuk menangani limbah cair ini perlu mendapat perhatian secara seksama untuk mengantisipasi berbagai masalah lingkungan yang akan ditimbulkan. Makalah ini memaparkan perkembangan penelitian tentang teknologi pengolahan air limbah RPH 15 tahun terakhir. Overview dimulai dari telaah mengenai sumber dan karakteristik air limbah dilanjutkan dengan perkembangan teknologi untuk pengolahan air limbah secara fisika, kimia dan biologis. Pada akhir dari makalah ini juga dipaparkan perkembangan terkini tentang bioreaktor membran anaerobik untuk pengolahan air limbah.*

*Kata Kunci : Air limbah RPH, pengolahan air limbah, bioreaktor membran anaerobik*

### Pendahuluan

Rumah Potong Hewan (RPH) merupakan salah satu industri yang mengeluarkan limbah cair dalam jumlah besar. Limbah cair RPH mengandung bahan organik dengan konsentrasi tinggi, padatan tersuspensi, serta bahan koloid seperti lemak, protein, dan selulosa (Claudia E.T. Caixeta, dkk, 2002; D.I Masse, dkk, 2001; dan L.A. Nunez, dkk, 1999). Seiring dengan peningkatan kesadaran masyarakat akan permasalahan lingkungan dan peraturan pemerintah yang semakin ketat, maka penanganan terhadap limbah cair di RPH ini perlu mendapat perhatian secara seksama. *Overview* tentang pengolahan air limbah industri pemrosesan daging (termasuk di dalamnya RPH) telah dilakukan oleh M.R. Johns (1995). Namun demikian, penelitian sampai tahun-tahun terakhir ini telah mengalami perkembangan yang cukup signifikan. Makalah ini akan menyajikan *overview* perkembangan terkini tentang penelitian pengolahan air limbah RPH.

Limbah cair di RPH berasal dari beberapa kegiatan pada proses pemotongan hewan yaitu pencucian hewan, penyembelihan, pengulitan, pemotongan bagian-bagian tubuh hewan, dan pembersihan lantai, penyimpanan daging (Fang, L., 2000). Oleh karena itu, limbah cair ini merupakan limbah organik biodegradabel yang terdiri dari darah, partikel-partikel kulit dan daging, sisa-sisa dari sistem pencernaan, cairan rumen, kotoran hewan, urin, dan polutan-polutan lainnya dari proses pencucian. Karakteristik limbah cair yang dihasilkan tergantung kepada proses pemotongan, spesies binatang, perilaku karyawan, dan manajemen pengelolaan air limbah. Komposisi air limbah yang diperoleh dari beberapa penelitian terdahulu tersaji pada Tabel 1.

Dari Tabel 1 dapat dilihat bahwa limbah cair RPH dicirikan oleh adanya bahan organik (BOD/COD) dengan konsentrasi tinggi, padatan tersuspensi, serta bahan koloid seperti lemak dan protein. Oleh karena itu, teknik-teknik pengolahan air limbah dari berbagai penelitian juga diarahkan oleh mengatasi permasalahan yang disebabkan oleh padatan tersuspensi, koloid, dan kandungan bahan organik (BOD/COD) tersebut. Untuk mengatasi padatan tersuspensi dan koloid, pada umumnya dikembangkan teknik-teknik pengolahan secara fisika kimia. Sedangkan untuk mengolah kandungan BOD/COD tinggi diupayakan teknik-teknik pengolahan secara biologis.

### Pengolahan Secara Fisika-Kimia

Pengolahan secara fisika mewakili proses pengolahan yang tidak melibatkan bahan-bahan kimia serta tidak terjadi reaksi kimia, sedangkan pengolahan secara kimia melibatkan bahan kimia serta terjadi reaksi kimia di dalamnya. Pada makalah ini, pengolahan secara elektrokimia diikutkan pembahasannya pada kelompok pengolahan secara fisika kimia. Pengolahan secara fisika kimia dari berbagai penelitian terdahulu antara lain koagulasi flokulasi konvensional (menggunakan bahan kimia seperti garam-garam Besi dan Aluminium), elektrokoagulasi (koagulasi

menggunakan bantuan elektroda terlarut), oksidasi kimia (pengolahan dengan oksidator kuat seperti ozon dan hidrogen peroksida), dan pengapungan dengan udara terlarut (*DAF, Dissolved Air Flotation*). Teknik koagulasi flokulasi konvensional telah terbukti bisa menurunkan padatan tersuspensi dari air limbah RPH sampai 99 % (M.F. Hamoda, dkk., 2004). Namun demikian teknik ini memiliki beberapa kelemahan yaitu menimbulkan limbah lumpur kimia dalam jumlah relatif besar dan biaya operasi juga relatif besar sehingga menimbulkan permasalahan tersendiri. Oleh karena itu para peneliti berusaha beralih kepada upaya untuk meminimasi hasil samping. Teknik terbaru yang dikembangkan yaitu teknik elektrokoagulasi dan ozonasi. Teknik elektrokoagulasi mempunyai beberapa keunggulan yaitu peralatan sederhana, mudah dalam pengoperasian, waktu reaksi singkat, tidak memerlukan bahan kimia tambahan, dan hanya menghasilkan padatan dalam jumlah kecil. Di samping itu, selama proses elektrokoagulasi, kandungan garam tidak bertambah secara signifikan sebagaimana terjadi pada pengolahan secara kimiawi (M.Y.A. Mollah, dkk, 2001).

Tabel 1. Karakteristik limbah cair RPH

Parameter	satuan	Konsentrasi rata-rata / Peneliti <sup>*)</sup>							
		1	2	3	4	5	6	7	8
pH	-	7,1	7,2	6,7	7,3	6,05	6,75	6,9	7,5
BOD total	mg O <sub>2</sub> /L	-	900	11.000	-	6.000	-	2.250	
BOD terlarut	mg O <sub>2</sub> /L		490						
COD total	mg O <sub>2</sub> /L	11.500	1.820	27.500	8.200	12.975	11.850	4.175	12.820
COD terlarut	mg O <sub>2</sub> /L	5.490	800				10.300		
Padatan tersuspensi	mg/L	2.658	430	1.020	1.130	3.550	1.000	1.300	58.200
Minyak dan lemak	mg/L	-	170	1.650	-	-	-	262,5	250
Nitrogen total	mg/L	735	190	-	-	381	-	120	531
Amonia - N	mg/L	221	-	-	46,5	212,5	59,15		
Protein	mg/L	3.213	-	-	5.500	-	7.100		
P- PO <sub>4</sub> <sup>3-</sup>	mg/L				17,6	-	7,05	11,5	410
Alkalinitas as CaCO <sub>3</sub>	mg/L	972	430	-	-	-	-		530

\*) 1: D.I Masse, dan L. Masse (2001); 2: R.D Pozo, dan V. Diez (2005); 3: M. Koby, Et al (2006; 4 : K.V Rajeshwari, dkk (2000); 5: W. Fuchs, dkk. (2003); 6: I. Ruiz, dkk. (1997); 7: N.T Manjunath, dkk. (1999); 8: J.R Mart ynez, dkk. (2002)

Proses ini telah terbukti bisa mengolah berbagai polutan dari air limbah dengan hasil memuaskan dalam skala laboratorium (G. Chen, 2004; M.Y.A Mollah, dkk, 2001; dan Rajeshwari, K., 1994). Beberapa air limbah yang telah berhasil diolah dengan baik yaitu air limbah industri tekstil (Bayramoglu, M., dkk., 2004; Koby, M., dkk., 2003; dan S.H. Lin, 1994), air limbah rumah tangga (Pouet, M.F., dkk., 1995), cairan dari sampah (Tsai, C.T., dkk., 1997), dan limbah cair kimiawi dari industri fiber (Lin, S.H., 1998). Teknik Elektrokoagulasi juga telah dikembangkan untuk mengolah berbagai air limbah industri makanan seperti minyak zaitun (Adhoum, N., dan L.Monser, 2004), rumah makan (Chen, X., dkk., 2000a dan 2000b), dan air limbah yang berminyak (Calvo, L.S., dkk., 2003; Chen, X., 2002). Meskipun sejumlah peneliti telah memperoleh hasil yang memuaskan pada pengolahan air limbah industri secara elektrokoagulasi, masih sangat sedikit peneliti yang mengolah air limbah RPH dengan teknik ini. Penelitian terbaru yang mengolah air limbah RPH secara elektrokoagulasi dilakukan oleh Koby, dkk (2006). Koby, dkk memperoleh hasil yang relatif menggembirakan antara lain memperoleh efisiensi penyisihan COD (*Chemical Oxygen Demand*) 93 % menggunakan elektroda Aluminium (Al) dan efisiensi penyisihan minyak dan lemak 98 % diperoleh dengan menggunakan elektroda besi (Fe). Namun demikian, sampai saat ini belum ada informasi penerapan teknik ini dalam skala industri karena penelitian masih dilakukan secara batch dalam skala laboratorium.

Oksidasi air limbah secara kimia menggunakan ozon atau sering disebut dengan ozonasi memiliki beberapa keuntungan antara lain tidak memberikan hasil samping berupa limbah dan tidak menghasilkan residu karena mudah terurai kembali menjadi oksigen. Ketika larut dalam air limbah, ozon akan bereaksi dengan senyawa organik dalam air limbah dalam 2 (dua) cara yaitu dengan oksidasi secara langsung sebagai molekul ozon, atau dengan reaksi tidak langsung melalui pembentukan radikal bebas (S. Barredo Damas, dkk, 2005). Reaksi oksidasi ini akan menghilangkan warna, menurunkan COD, dan meningkatkan biodegradabilitas senyawa organik untuk diolah lebih lanjut secara biologis. Di samping itu itu, ozonasi juga akan meningkatkan kemampuan padatan tersuspensi untuk mengendap karena mampu merubah muatan padatan tersuspensi dan koloid yang ada di dalam air limbah. Beberapa



peneliti telah menggunakan ozonasi ini untuk mengolah air limbah antara lain air limbah industri tekstil (S. Barredo Damas, dkk, 2005; Gulen Eremektar, dkk., 2007), air limbah *leachate* dikombinasikan dengan karbon aktif (F. Javier R., dkk, 2003), air limbah berminyak dikombinasikan dengan ultrafiltrasi (In-Soung Chang, dkk, 2001), air limbah sintesis dikombinasikan dengan filtrasi membran (B. Schlichter, dkk., 2003), air limbah domestik dikombinasikan dengan membran mikrofiltrasi dan UV (P. Paraskeva, dk., 2005) dan air limbah kertas (Rui Wang, dkk., 2004). Sampai saat ini belum ada informasi penelitian tentang teknik ozonasi untuk pengolahan air limbah RPH. Berdasarkan berbagai keuntungan teknik ozonasi dikaitkan dengan karakteristik air limbah RPH maka masih terbuka peluang secara luas untuk penelitian teknik ozonasi untuk pengolahan air limbah RPH.

Penggunaan DAF untuk penyisihan padatan tersuspensi dari air limbah RPH masih belum terdapat perkembangan secara signifikan sebagaimana overview terakhir menurut M.R. Johns (1995). Teknik ini mampu menyisihkan COD, padatan tersuspensi, serta minyak dan lemak dari air limbah RPH berturut-turut sebesar 40, 60, dan 90 %. Permasalahan utama masih terletak pada bagaimana menciptakan gelembung yang sekecil mungkin agar kontak antara udara dan padatan tersuspensi semakin efisien. Penelitian terbaru menurut N.T. Manjunath, dkk (2000), memanfaatkan DAF sebagai pengolahan pendahuluan sebelum pengolahan secara biologis anaerobik menggunakan UASB (*upflow anaerobic sludge blanket*). Dengan gabungan ini mampu menyisihkan COD sampai 90 % sehingga air limbah siap dibuang langsung ke lingkungan. Pada umumnya, pengolahan primer secara fisika kimia belum bisa mendapatkan hasil sesuai dengan yang diinginkan (belum bisa memenuhi baku mutu yang dipersyaratkan). Oleh karena itu, untuk mendapatkan hasil pengolahan yang lebih sempurna diikuti dengan pengolahan secara biologis.

### PENGOLAHAN SECARA BIOLOGIS

Pengolahan air limbah secara biologis terutama diarahkan untuk mengolah kandungan bahan organik terlarut dari air limbah. Teknik ini memanfaatkan jasa mikroorganisme baik aerobik maupun anaerobik untuk memenuhi kebutuhan metabolismenya dengan cara mendegradasi senyawa organik yang ada di dalam air limbah. Proses pengolahan secara aerobik memiliki beberapa keterbatasan antara lain memerlukan energi yang tinggi untuk aerasi dan menghasilkan lumpur dalam jumlah besar sehingga memberikan permasalahan tersendiri bagi lingkungan. Sedangkan pengolahan secara anaerobik memiliki beberapa keuntungan antara lain mampu mendegradasi bahan organik dalam air limbah dengan konsentrasi tinggi, hanya sedikit menghasilkan lumpur padat, hemat energi karena tidak memerlukan aerasi, dan bisa memberikan hasil samping berupa gas metana yang bisa digunakan sebagai bahan bakar. Oleh karena itu pengolahan secara anaerobik paling banyak dikembangkan dan dianggap paling sesuai untuk mengolah kandungan bahan organik dari air limbah RPH.

Menurut D.I. Masse dan L. Masse (2000), pengolahan secara biologis anaerobik merupakan alternatif yang lebih menarik untuk mengolah limbah cair RPH dengan beberapa pertimbangan : (1). Karakteristik limbah cair RPH memang lebih sesuai diolah secara anaerobik karena mengandung bahan organik biodegradabel konsentrasi tinggi yaitu dari lemak dan protein, kandungan alkalinitas yang cukup, serta kandungan Fosfor, Nitrogen, dan mikronutrien yang sesuai untuk pertumbuhan mikroorganisme; (2). Kandungan COD dan padatan tersuspensi yang tinggi dari air limbah akan menjadi sumber energi yang tinggi pula dalam bentuk metana; (3). Bakteri anaerobik bisa tahan hidup dalam waktu lama tanpa adanya makanan/substrat. Hal ini sangat cocok untuk mengolah limbah RPH skala kecil yang beroperasi hanya beberapa hari dalam seminggu atau bahkan kadang-kadang tidak beroperasi dalam beberapa minggu.

Di sisi lain, proses pengolahan air limbah RPH secara anaerobik juga memiliki beberapa keterbatasan antara lain proses pengolahan berjalan lambat karena akumulasi padatan tersuspensi dan lemak yang mengapung di reaktor sehingga menghambat pertumbuhan mikroba metanogenesis dan banyak biomassa yang terikut bersama keluaran (*wash-out*) (D. Masse, dkk., 2001; K.V. Rajeshwari, dkk., 2000). Kekurangan lainnya, sebagaimana dilaporkan oleh beberapa peneliti, adalah bahwa beberapa proses pengolahan secara anaerobik sangat peka terhadap laju pembebanan yang tinggi (L.A. Nunez, 1999; R. Borja, dkk., 1998). Di samping itu, sebagaimana proses-proses pengolahan secara biologis, cara pengolahan tersebut juga memerlukan waktu tinggal cairan (*Hydraulic Retention Time*, HRT) yang tinggi (volume reaktor yang besar), konsentrasi biomassa tinggi dan diperlukan pengendalian terhadap keluarnya biomassa dari reaktor (K.V Rajeshwari, dkk., 2000). Oleh karena itu, semua upaya penelitian pengolahan air limbah RPH secara anaerobik diarahkan pada masalah utama yaitu **bagaimana cara yang paling efektif untuk menahan mikroorganisme anaerobik di dalam reaktor**.

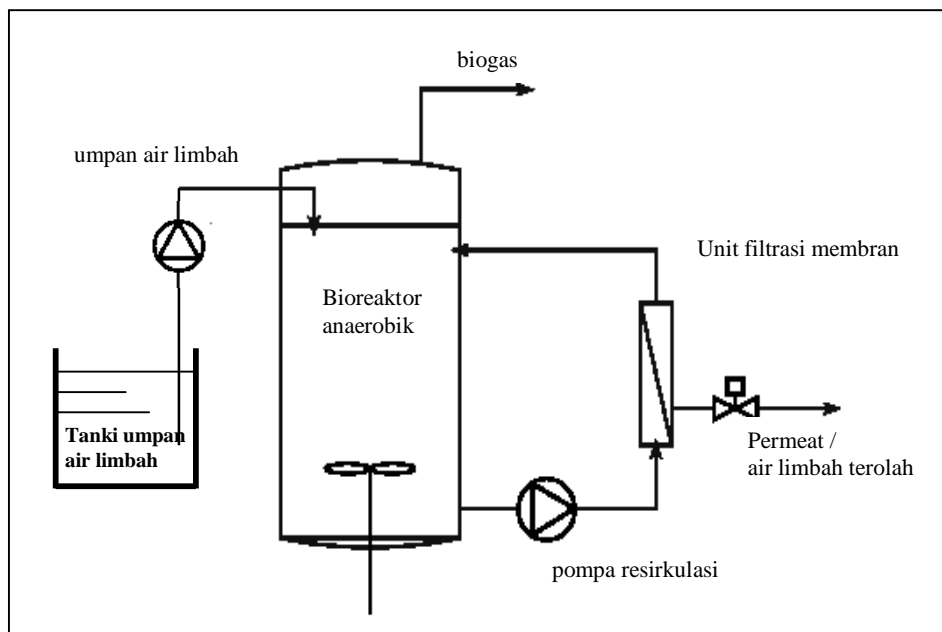
Beberapa teknik yang telah dikembangkan oleh beberapa peneliti yaitu (1) ASBR (*Anaerobic Squenching Batch Reactor*, pengolahan secara semi kontinyu *fill and draw*, lumpur mempunyai waktu yang cukup untuk mengendap sehingga tidak keluar bersama air limbah olahan, D.I. Masse dan L Masse, 2000 & 2001; D.P. Cassidy dan E. Belia, 2005; M. Merzouki, 2005); (2) *fixed film reactor* (mikroorganisme anaerobik ditumbuhkan pada permukaan media tertentu sehingga tidak terikut keluar bersama keluaran air limbah, R. Del Pozo, 2000 dan 2005;

M. Wu, dkk., 2000;); (3) UASB (*upflow anaerobic sludge blanket*, yaitu reaktor dilengkapi dengan sejenis tutup untuk mencegah keluarnya mikroba, Jesús Rodríguez-Martínez, dkk 2002; Cláudia E. T. Caixeta, dkk., 2002; Rafael Borja, dkk., 1998); dan (4) Reaktor anaerobik unggun terfluidakan (*anaerobic fluidized bed reactor*, yaitu media sebagai tempat pertumbuhan mikroorganisme difluidisasikan untuk memperbaiki kontak mikroba dengan air limbah, Rafael Borja, 1995).

Walaupun berbagai teknik pengolahan secara anaerobik telah dikembangkan oleh beberapa peneliti terdahulu, namun dalam penerapannya di industri kurang memuaskan dan perlu dikombinasikan dengan proses-proses lainnya. Pengoperasian skala industri yang dilakukan oleh G. Sarabia, dkk (2004) mendapatkan penyisihan BOD, COD, padatan tersuspensi berturut-turut sebesar 91, 89, dan 85 %. Del Pozo R dan Diez V (2005) lebih lanjut juga berusaha mengoperasikan unit pengolahan air limbah skala pilot selama 166 hari dengan mengkombinasikan sistem anaerobik-aerobik *fixed film reactor*. Efisiensi penyisihan bahan organik total yang diperoleh rata-rata masih sebesar 93 %. Di samping itu, secara umum dari berbagai teknik yang dikembangkan masih mempunyai beberapa kelemahan antara lain terdapat mikroorganisme dan padatan tersuspensi yang keluar bersama air olahan, kurangnya kemampuan mengendap padatan tersuspensi yang terikut, serta memerlukan waktu tinggal cairan lama sehingga memerlukan volume reaktor yang besar. Seiring dengan perkembangan teknologi filtrasi membran, maka telah dikembangkan teknik terbaru yaitu menerapkan teknologi filtrasi membran untuk memisahkan mikroorganisme dari air terolah dan mengembalikannya ke dalam reaktor. Teknik ini dikenal dengan nama bioreaktor membran anaerobik (BioreMA) (A. Beaubien, dkk., 1996).

### BIOREAKTOR MEMBRAN ANAEROBIK

Pada dasarnya, BioreMA terdiri dari bioreaktor anaerobik yang dilengkapi dengan unit filtrasi membran. Diagram sederhana BioreMA seperti dikembangkan oleh W. Fuchs, dkk (2003) seperti tersaji pada Gambar 1.



Gambar 1. Diagram skematik Bioreaktor Membrane Anaerobik (BioreMA)  
(W. Fuchs, dkk., 2003; A. Beaubien, dkk., 1996)

BioreMA telah digunakan oleh beberapa peneliti untuk mengolah air limbah antara lain air limbah makanan konsentrasi tinggi (Yiliang He, dkk., 2005; George Nakhla, dkk., 2006), limbah amonia konsentrasi tinggi (Jan du Preez, dkk., 2005), air limbah domestik (Ahlem Saddoud, dkk., 2007; Jinwoo Cho, dkk., 2005), dan air limbah kotoran babi (Sudini I. Padmasiri, dkk., 2007). Beberapa keistimewaan dari sistem BioreMA dari penelitian tersebut antara lain kebutuhan energi rendah, pemanfaatan limbah organik untuk menghasilkan energi serta mudah dalam operasioanal, produksi biogas meningkat seiring dengan kenaikan laju pembebanan organik, kualitas keluaran seragam dalam waktu lama dan tidak mengandung mikroba (Ahlem Saddoud, dkk., 2007; L.G. Gassanova, dkk., 2006), semua koloid dan padatan tersuspensi bisa tertahan sempurna, keluaran bisa di-*reuse* dengan biaya operasi masih bisa diterima dari segi teknik dan ekonomis (George Nakhla, dkk., 2006; Jae-Hoon Choi, dkk., 2002).

Penelitian terkini mengenai penggunaan BioreMA untuk pengolahan air limbah RPH dilakukan oleh W. Fuchs, dkk., (2003). Air limbah RPH yang digunakan tanpa mengalami pengolahan pendahuluan, memiliki pH antara 5,3-6,8 dengan komposisi COD antara 5800-20.150 mg/L, padatan tersuspensi 2400-4700 mg/L, serta total Nitrogen 301-460 mg/L. Bioreaktor anaerobik yang digunakan mempunyai volume efektif 7 L. Filtrasi menggunakan membran  $Al_2O_3$  dengan luas permukaan 1260  $m^2$  dan ukuran pori 0,2  $\mu m$ . Operasi pengolahan berjalan relatif stabil dalam waktu lama dengan penyisihan COD hampir 100 %. Biomassa tertahan secara sempurna di dalam reaktor sehingga konsentrasi biomassa maupun padatan tersuspensi di dalam air olahan adalah 0 mg/L. Hal ini merupakan keistimewaan yang tidak mungkin dicapai oleh pengolahan secara anaerobik lainnya. Dilaporkan pula bahwa energi yang diperlukan untuk pemompaan dalam filtrasi membran masih lebih kecil bila dibandingkan dengan energi dari biogas yang dihasilkan. Penelitian lebih lanjut penerapan teknologi BioreMA ini untuk pengolahan air limbah RPH sangat menarik untuk dikembangkan. Beberapa hal yang belum dikaji antara lain optimasi beberapa parameter operasi membran, pemilihan jenis material membran yang digunakan, maupun kemungkinan penggunaan membran yang dicelupkan secara langsung di dalam bioreaktor (*submerge membrane*). Hal ini mengingat bahwa teknik *submerge membrane* dinilai sangat hemat energi sebagaimana telah terbukti pada pengolahan secara aerobik untuk pengolahan air limbah domestik yang dikombinasikan dengan filtrasi membran (Tatsuki Ueda dan K. Hata, 1999; Jae-Hoon Choi, dkk., 2002). Kajian mengenai mekanisme fouling dalam membran juga perlu mendapat perhatian secara serius. Hal ini mengingat jenis air limbah tertentu juga akan berinteraksi secara sangat spesifik dengan membran (Kwang-Ho Choo dan Chung-Hak Lee, 1996).

## PENUTUP

Dari *overview* tentang perkembangan penelitian teknologi pengolahan air limbah RPH beberapa tahun terakhir bisa diambil kesimpulan bahwa :

- Limbah cair RPH dicirikan oleh 2 (dua) masalah utama yaitu adanya bahan organik terlarut (BOD/COD) dengan konsentrasi tinggi dan padatan tersuspensi (termasuk koloid) seperti lemak dan protein sehingga semua penelitian pengolahan air limbah dicurahkan untuk mengatasi 2 (dua) masalah utama tersebut.
- Pengolahan secara fisika kimia terutama diarahkan untuk mengatasi kandungan padatan tersuspensi walaupun dalam beberapa hal juga terjadi penurunan kandungan bahan organik terlarut. Masih terbuka peluang secara luas untuk mengembangkan pengolahan air limbah RPH khususnya elektrokoagulasi dan ozonasi untuk meningkatkan efisiensi pengolahan di samping untuk menekan hasil samping limbah padat.
- Pengolahan secara biologis anaerobik merupakan alternatif yang lebih menarik untuk mengolah bahan organik dari limbah cair RPH. Hampir semua perkembangan teknologi pengolahan secara anaerobik diarahkan untuk menahan mikroorganisme di dalam reaktor di samping dalam upaya meningkatkan efisiensi terbentuknya biogas/metana.
- BioreMA memberikan alternatif yang lebih menarik untuk mengolah air limbah RPH dengan segala macam kelebihanannya. Teknologi ini bahkan memungkinkan mengolah air limbah RPH tanpa pengolahan pendahuluan untuk memisahkan padatan tersuspensi.

*Overview* dalam makalah ini belum menyinggung bagaimana penerapan teknologi bersih di RPH. Di samping itu, makalah ini juga belum menyinggung tentang penelitian terkini yang berkaitan dengan masalah lebih lanjut yang diakibatkan oleh kandungan nitrogen dan fosfor dalam air limbah.

## DAFTAR PUSTAKA

- A. Beaubien, M. Bâty, F. Jeannot, E. Francoeur and J. Manem, Design and operation of anaerobic membrane bioreactors: development of a filtration testing strategy, *Journal of Membrane Science*, Volume 109, Issue 2, 24 January 1996, Pages 173-184
- Ahlem Saddoud and Sami Sayadi, Application of acidogenic fixed-bed reactor prior to anaerobic membrane bioreactor for sustainable slaughterhouse wastewater treatment, *Journal of Hazardous Materials*, Article in Press, 2007
- Ahlem Saddoud, Mariem Ellouze, Abdelhafidh Dhouib, Sami Sayadi, Anaerobic Membrane Bioreactor Treatment Of Domestic Wastewater In Tunisia, *Desalination* 207 (2007) 205–215
- Ayoob Torkian, A. Egbali and S. J. Hashemian, The effect of organic loading rate on the performance of UASB reactor treating slaughterhouse effluent, *Resources, Conservation and Recycling*, Vol. 40, Issue 1, December 2003, Pages 1-11
- B. Schlichter, V. Mavrov and H. Chmiel, Study of a hybrid process combining ozonation and membrane filtration — filtration of model solutions, *Desalination*, Vol. 156, Issues 1-3, 1 August 2003, Pages 257-265
- Cláudia E. T. Caixeta, Magali C. Cammarota and Alcina M. F. Xavier, Slaughterhouse wastewater treatment: evaluation of a new three-phase separation system in a UASB reactor, *Bioresource Technology*, Vol. 81, Issue 1, January 2002, Pages 61-69
- C.T. Tsai, S.T. Lin, Y.C. Shue, P.L. Su, Electrolysis of soluble organic matter in leachate from landfills, *Water Res.* 31 (1997) 3073–3081.
- Daniel I. Massé and Lucie Masse, The effect of temperature on slaughterhouse wastewater treatment in anaerobic sequencing batch reactors, *Bioresource Technology*, Vol. 76, Issue 2, January 2001, Pages 91-98

- D. I. Massé and Lucie Masse, Treatment of slaughterhouse wastewater treatment in anaerobic sequencing batch reactors, *Canadian Agricultural Engineering*, Vol. 42, Issue 3, July-September, 2000, Pages 91-98
- D.P. Cassidya and E. Belia, Nitrogen and phosphorus removal from an abattoir wastewater in a SBR with aerobic granular sludge, *Water Research* 39 (2005) 4817-4823
- Fang, L., (2000), Environmental Effects Of The Beef Industry, Agricultural and Natural Resource Economics Discussion Paper Series, School of Natural and Rural Systems Management University of Queensland, Australia
- F. Javier Rivas, Fernando Beltrán, Olga Gimeno, Benito Acedo and Fátima Carvalho, Stabilized leachates: ozone-activated carbon treatment and kinetics, *Water Research*, Vol. 37, Issue 20, December 2003, Pages 4823-4834
- Gulen Eremektar, Huseyin Selcuk and Sureyya Meric, Investigation of the relation between COD fractions and the toxicity in a textile finishing industry wastewater: Effect of preozonation, *Desalination*, Volume 211, Issues 1-3, 10 June 2007, Pages 314-320
- George Nakhla, Andrew Lugowski, Javnik Patel and Victor Rivest, Combined biological and membrane treatment of food-processing wastewater to achieve dry-ditch criteria: Pilot and full-scale performance, *Bioresource Technology*, Volume 97, Issue 1, January 2006, Pages 1-14
- G. Chen, Electrochemical technologies in wastewater treatment, *Sep. Purif. Technol.* 38 (2004) 11-41.
- I. Ruiz, M. C. Veiga, P. de Santiago and R. Blázquez, Treatment of slaughterhouse wastewater in a UASB reactor and an anaerobic filter, *Bioresource Technology* Vol. 60, Issue 3, June 1997, Pages 251-258
- Jae-Hoon Choi, Seok Dockko, Kensuke Fukushi, Kazuo Yamamoto, A novel application of a submerged nanofiltration membrane bioreactor (NF ME3R) for wastewater treatment, *Desalination* 146 (2002) 413420
- J. Martínez, L. Borzacconi, M. Mallo, M. Galisteo and M. Viñas, Treatment of slaughterhouse wastewater, *Water Science and Technology*, Vol. 32, Issue 12, 1995, Pages 99-104
- Jesús Rodríguez-Martínez, Ivan Rodríguez-Garza, Estaban Pedraza-Flores, Nagamani Balagurusamy, Gerardo Sosa-Santillan and Yolanda Garza-García, Kinetics of anaerobic treatment of slaughterhouse wastewater in batch and upflow anaerobic sludge blanket reactor, *Bioresource Technology*, Vol. 85, Issue 3, December 2002, Pages 235-241
- Jinwoo Cho, Kyung-Guen Song, Sang Hyup Lee, Kyu-Hong Ahn, Sequencing anoxic/anaerobic membrane bioreactor (SAM) pilot plant for advanced wastewater treatment, *Desalination* 178 (2005) 219-225
- K. V. Rajeshwari, M. Balakrishnan, A. Kansal, Kusum Lata and V. V. N. Kishore, State-of-the-art of anaerobic digestion technology for industrial wastewater treatment, *Renewable and Sustainable Energy Reviews* Vol. 4, Issue 2, June 2000, Pages 135-156
- Kwang-Ho Choo dan Chung-Hak Lee, Membrane Fouling Mechanisms In The Membrane-Coupled Anaerobic Bioreactor, *Wat. Res.* Vol. 30, No. 8, pp. 1771-1780, 1996
- L.G. Gassanova, Alexander I. Netrusov, V.V. Teplyakova, M. Modigell, Fuel gases from organic wastes using membrane bioreactors, *Desalination* 198 (2006) 56-66
- L. Masse, D. I. Massé and K. J. Kennedy, Effect of hydrolysis pretreatment on fat degradation during anaerobic digestion of slaughterhouse wastewater, *Process Biochemistry*, Vol. 38, Issue 9, 30 April 2003, Pages 1365-1372
- L.A. Nunez and B. Martinez, Anaerobic treatment of slaughterhouse wastewater in an expanded granular sludge bed (EGSB) reactor, *Water Science and Technology*, Vol. 40, Issue 8, 1999, Pages 99-106
- L.S. Calvo, J.P. Leclerc, G. Tanguy, M.C. Cames, G. Paternotte, G. Valentin, A. Rostan, F. Lapique, An electrocoagulation unit for the purification of soluble oil wastes of high COD, *Environ. Prog.* 22 (2003), 57-65.
- M. Wu, F. Wilson, J.H. Tay, Influence of media-packing ratio on performance of anaerobic hybrid reactors, *Bioresource Technology* 71 (2000) 151-157
- M. I. Aguilar, J. Sáez, M. Lloréns, A. Soler and J. F. Ortuño, Microscopic observation of particle reduction in slaughterhouse wastewater by coagulation-flocculation using ferric sulphate as coagulant and different coagulant aids, *Water Research*, Vol. 37, Issue 9, May 2003, Pages 2233-2241
- M. L. M. Stoop, Application of a mathematical calculation model to reduce slaughterhouse (water) pollution in developing countries, *Technovation* Vol. 19, Issue 5, February 1999, Pages 323-331
- M. Merzouki, N. Bernet, J.P. Delgenès and M. Benlemlih, Effect of prefermentation on denitrifying phosphorus removal in slaughterhouse wastewater, *Bioresource Technology* Vol. 96, Issue 12, August 2005, Pages 1317-1322
- M. R. Johns, Developments in wastewater treatment in the meat processing industry: A review, *Bioresource Technology*, Vol. 54, 1995, Pages 203-216
- Mahmut Bayramoglu, Mehmet Kobya, Murat Eyvaz and Elif Senturk, Technical and economic analysis of electrocoagulation for the treatment of poultry slaughterhouse wastewater, *Separation and Purification Technology*, Vol. 51, Issue 3, October 2006, Pages 404-408
- Marilena T. Radoiu, Diana I. Martin, Ioan Calinescu and Horia Iovu, Preparation of polyelectrolytes for wastewater treatment, *Journal of Hazardous Materials*, Vol. 106, Issue 1, 2 January 2004, Pages 27-37
- Mehmet Kobya, Elif Senturk and Mahmut Bayramoglu, Treatment of poultry slaughterhouse wastewaters by electrocoagulation, *Journal of Hazardous Materials*, Vol. 133, Issues 1-3, 20 May 2006, Pages 172-176
- M.Y.A. Mollah, R. Schennach, J.P. Parga, D.L. Cocke, Electrocoagulation(EC) - science and applications, *J. Hazard. Mater.* B84 (2001) 29-41.
- Michael R. Johns, Michael L. Harrison, Philip H. Hutchinson and Peter Beswick Sources of nutrients in wastewater from integrated cattle slaughterhouses, *Water Science and Technology* Vol. 32, Issue 12, 1995, Pages 53-58



- M.F. Pouet, A. Grasmick, Urban wastewater treatment by electrocoagulation and flotation, *Water Sci. Technol.* 31 (1995) 275–283.
- M.F Hamoda, I. Al-Ghusain, N.Z. Al-Mutairi, Coagulant selection and sludge conditioning in a slaughterhouse wastewater treatment plant, *Bioresource Technology*, Vol. 95, 2004, Pages 115-119
- N. T. Manjunath, Indu Mehrotra and R. P. Mathur, Treatment of wastewater from slaughterhouse by DAF-UASB system, *Water Research*, Vol. 34, Issue 6, 1 April 2000, Pages 1930-1936
- M. F. Hamoda, N. Z. Al-Mutairi, and I. Al-Ghusain. Coagulant selection and sludge conditioning in a slaughterhouse wastewater treatment plant, *Bioresource Technology*, Vol. 95, Issue 2, November 2004, Pages 115-119
- Oseni M. Millamena, Ozone treatment of slaughterhouse and laboratory wastewaters, *Aquacultural Engineering*, Vol. 11, Issue 1, 1992, Pages 23-31
- P. Paraskeva and N.J.D. Graham, Treatment of a secondary municipal effluent by ozone, UV and microfiltration: microbial reduction and effect on effluent quality, *Desalination, Volume 186, Issues 1-3, 30 December 2005, Pages 47-56*
- R. Del Pozo and V. Diez, Integrated anaerobic-aerobic fixed-film reactor for slaughterhouse wastewater treatment, *Water Research*, Vol. 39, Issue 6, March 2005, Pages 1114-1122
- Rui Wang, Chen-Loung Chen and Josef S. Gratzl, Dechlorination and decolorization of chloro-organics in pulp bleach plant E-1 effluents by advanced oxidation processes, *Bioresource Technology*, Vol. 94, Issue 3, September 2004, Pages 267-274
- R. del Pozo, V. Diez and S. Beltrán, Anaerobic pre-treatment of slaughterhouse wastewater using fixed-film reactors, *Bioresource Technology* Vol. 71, Issue 2, January 2000, Pages 143-149
- Rafael Borja, Charles J. Banks, Zhengjian Wang and Angela Mancha, Anaerobic digestion of slaughterhouse wastewater using a combination sludge blanket and filter arrangement in a single reactor, *Bioresource Technology*, Vol. 65, Issues 1-2, July-August 1998, Pages 125-133
- Rafael Borja, Charles J. Banks and Zhengjian Wang, Effect of organic loading rate on anaerobic treatment of slaughterhouse wastewater in a fluidized-bed reactor, *Bioresource Technology* Vol. 52, Issue 2, 1995, Pages 157-162
- S. Barredo-Damas, M.I. Iborra-Clar, A. Bes-Pia, M.I. Alcaina-Miranda, J.A. Mendoza-Roca and A. Iborra-Clar, Study of preozonation influence on the physical-chemical treatment of textile wastewater, *Desalination*, Vol. 182, Issues 1-3, 1 November 2005, Pages 267-274
- S. Gariépy, R. D. Tyagi, D. Couillard and F. Tran, Thermophilic process for protein recovery as an alternative to slaughterhouse wastewater treatment, *Biological Wastes*, Vol. 29, Issue 2, 1989, Pages 93-105
- S.H. Lin, C.F. Peng, Treatment of textile wastewaters by electrochemical method, *Water Res.* 28 (1994) 277–876.
- Sudini I. Padmasiri, Jiangzhao Zhang, Mark Fitch, Birgir Norddahl, Eberhard Morgenroth, Lutgarde Raskin, Methanogenic population dynamics and performance of an anaerobic membrane bioreactor (AnMBR) treating swine manure under high shear conditions, *Water Research* 41 (2007) 134 – 144
- Tanwei Jian and Xiang Zhang, Bioprocessing for slaughterhouse wastewater and its computerized control and supervisory system, *Resources, Conservation and Recycling*, Vol. 27, Issues 1-2, July 1999, Pages 145-149
- Tatsuki Ueda and Kenji Hata, Domestic Wastewater Treatment By A Submerged Membrane Bioreactor With Gravitational Filtration, *Wat. Res.* Vol. 33, No. 12, 1999, Pages. 2888-2892,
- V. Del Nery, I.R. de Nardi, M.H.R.Z. Damianovic, E. Pozzi, A.K.B. Amorim and M. Zaiat, Long-term operating performance of a poultry slaughterhouse wastewater treatment plant, *Resources, Conservation and Recycling*, Vol. 50, Issue 1, March 2007, Pages 102-114
- W. Fuchs, H. Binder, G. Mavrias and R. Braun, Anaerobic treatment of wastewater with high organic content using a stirred tank reactor coupled with a membrane filtration unit, *Water Research*, Vol. 37, Issue 4, February 2003, Pages 902-908
- W. P. Tritt, The anaerobic treatment of slaughterhouse wastewater in fixed-bed reactors, *Bioresource Technology* Vol. 41, Issue 3, 1992, Pages 201-207
- W. P. Tritt and F. Schuchardt, Materials flow and possibilities of treating liquid and solid wastes from slaughterhouses in Germany. A review, *Bioresource Technology*, Vol. 41, Issue 3, 1992, Pages 235-245
- X. Chen, G. Chen, P.L. Yue, Separation of pollutants from restaurant wastewater by electrocoagulation, *Sep. Purif. Technol.* 19, (2000), 65–76.
- X. Chen, G. Chen, P.L. Yue, Electrocoagulation and electroflotation of restaurant wastewater, *J. Environ. Eng.* 126 (2000), 858–863.
- X. Chen, G. Chen, P.L. Yue, Novel electrode system for electroflotation of wastewater, *Environ. Sci. Technol.* 36 (2002), 778–783.
- Yuansong Wei, Renze T. Van Houten, Arjan R. Borger, Dick H. Eikelboom and Yaobo Fan, Minimization of excess sludge production for biological wastewater treatment, *Water Research*, Vol. 37, Issue 18, November 2003, Pages 4453-4467
- Yiliang He, Pei Xu, Chunjie Li, Bo Zhang, High-concentration food wastewater treatment by an anaerobic membrane bioreactor, *Water Research*, 39 (2005), Pages 4110–4118