



Tekno-Ekonomi Sistem Membran Terintegrasi untuk Pengolahan Air Baku Campuran Air Payau dan Efluen STP

I Nyoman Widiasta^{1*} dan Asteria A. Susanto¹

^{1*} Jurusan Teknik Kimia, Fakultas Teknik UNDIP, Jl. Prof Sudarto, SH, Tembalang, Semarang

¹ Jurusan Teknik Kimia, Fakultas Teknik UNDIP, Jl. Prof Sudarto, SH, Tembalang, Semarang

*E-mail: widiasta@undip.ac.id

Abstract

Recently, portable water supply is one of crucial problems in the world, including Indonesia because water is not a cheap natural resource. Saline waters such as brackish water, seawater, and wastewater have been used as alternative raw water sources to fulfil domestic and industrial water demands. Water price higher than IDR 15,000 clearly indicate that treatment of brackish water and/or wastewater reuse is effective from cost point of view. This work is aimed to perform in-situ pilot test by involving user and investor directly. Moreover, technical and cost are analysed based on a case study, i.e. average production of 220,000 m³/year; water price of IDR 14,500/m³ that increase IDR 2,000 every two years. This water treatment plant requires capital cost of 3.5 billions rupiahs. The capital comes from bank loan with interest of 13% per annual. It is found that with contract duration of 10 years, net present value (NPV) is positive so that this investment is feasible.

Keywords: brackish water, effluent of STP, membrane system, potable water

Pendahuluan

Sekarang ini penyediaan air bersih merupakan salah satu persoalan krusial dunia termasuk di Indonesia karena air tidak lagi menjadi sumber alam yang melimpah dan murah. Air telah menjadi barang langka dan bahkan sudah dipandang sebagai komoditi bisnis yang menggiurkan. Pengolahan air payau telah menjadi pilihan alternatif yang sangat realistis untuk penyediaan air bersih/air sanitasi khususnya untuk sektor bisnis properti di daerah pantai, seperti hotel, mall, perkantoran, maupun real estate. Kelayakan teknologi membran untuk desalinasi air payau di berbagai negara telah dilaporkan (Frenkel dan Gourgi, 1995; Al Mudaiheem *et al*, 1998; Mohsen dan Al-Jayyousi, 1999; Allama *et al*, 2002, Al-Zubari, 2003; Afonso *et al*, 2004; Saadi dan Ouazzani, 2004; Lashkaripour dan Zivdar, 2005; Walha *et al*, 2007; SenGupta dan Sarkar, 2011; Al-Jlil, 2012). Meskipun layak secara teknis maupun biaya, eksplorasi air payau dalam tanah yang berlebihan akan berimplikasi terhadap perununan muka tanah dan/atau intrusi air laut. Hal ini mendorong dikeluarkannya kebijakan tarif air tanah yang progresif sehingga biaya air baku bisa mencapai Rp. 4200,- per m³.

Selain untuk pengolahan air payau, aplikasi teknologi membran untuk penyediaan air domestik maupun industri terus berkembang pesat karena telah terbukti efektif dapat memisahkan berbagai kontaminan seperti partikel, kekeruhan, cysts, bacteria, virus, warna, senyawa organik, *disinfection by-product* (DBP) *precursors*, dan padatan terlarut (Singh, 2006). Bahkan aplikasi teknologi membran memungkinkan untuk mengolah air laut (Burashi dan Hussain, 2004; Leparck *et al*, 2007; Pais dan Ferr, 2007), air gambut (Katsoufidou *et al*, 2005; Susanto dan Ulbricht, 2006), maupun air limbah (Chena *et al*, 2005; Tam *et al*, 2007; Hoinkis dan Panten, 2008; Molinos-Senante *et al*, 2011) menjadi air minum atau air proses.

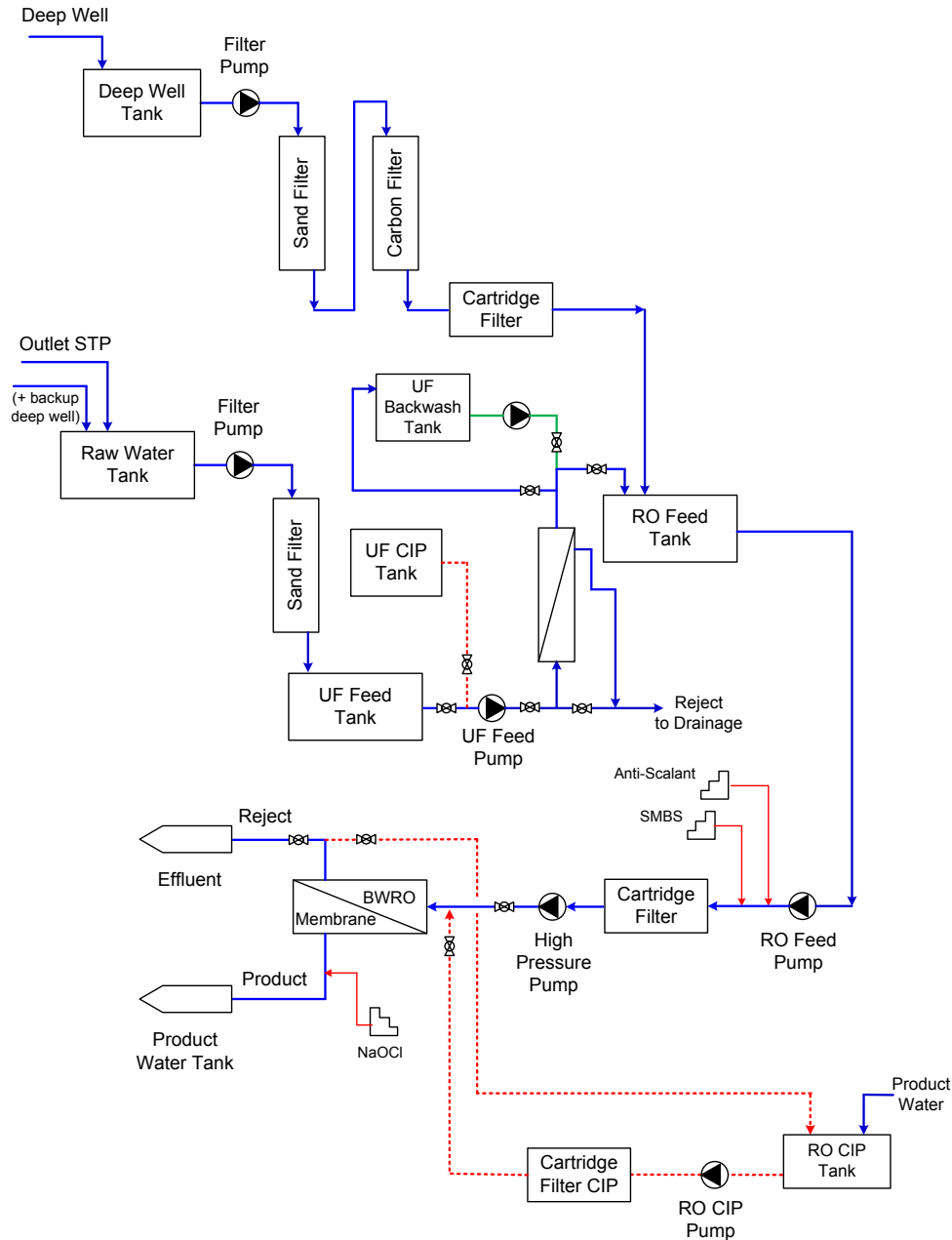
Air limbah, suatu terminologi yang bagi sebagian besar orang memberi makna negatif, antara lain pencemaran sungai, pencemaran sumur, kerusakan lingkungan, dan sumber penyakit. Konotasi seperti ini sangat logis dan nyata bilamana air limbah tidak dikelola dengan baik. Bahkan dengan diberlakukannya Undang-Undang No. 32 Tahun 2009 tentang perlindungan dan pengelolaan lingkungan hidup bahwa pelanggaran dalam pengelolaan air limbah tidak hanya mendapatkan sanksi administrasi (pasal 76), tetapi juga mendapatkan sanksi pidana (pasal 78). Oleh karena itu, perlu adanya perubahan cara pandang para pelaku industri terhadap air limbah sebagai *cost center* menjadi *valuable resources*. Konsep pengolahan harus digeser dari pemenuhan baku mutu menjadi *recycle* atau *reuse* (Ammary, 2007; Bdour *et al*, 2009; Bixioa *et al*, 2006; Yang dan Abbaspour, 2007). Bahkan nilai yang dapat dihasilkan akan jauh lebih tinggi jika air limbah dapat dimanfaatkan sebagai sarana produksi dan pendukung kelestarian lingkungan.

Berdasarkan fakta-fakta di atas, kombinasi air baku antara air payau dan air efluen *sewage treatment plant* (STP) akan memberikan beberapa keunggulan, yaitu (i) mengurangi biaya air baku, (ii) menghemat biaya listrik, (iii)



mengurangi eksplorasi air tanah, dan (iv) mengurangi beban saluran kota. Beberapa penelitian dalam skala laboratorium (*screening test & application test*) dan skala pilot untuk pengolahan air dan daur ulang air limbah di Indonesia telah diinvestigasi (Wenten *et al*, 1998; Widiasta dan Wenten, 2005; Widiasta dan Wenten, 2007; Widiasta, 2007; Sri Budiayati dan Widiasta, 2007; Widiasta *et al*, 2011). Makalah ini menyajikan tentang tinjauan tekno-ekonomi unit pengolahan air dengan air baku campuran antara air payau dan air efluen STP.

Desain Sistem



Gambar 1. Skematik diagram proses

Secara umum, tahapan-tahapan proses pengolahan air baku menjadi air produk yang memenuhi standar mutu sesuai dengan Permenkes No 492 tahun 2010 ditunjukkan pada Gambar 1. Sistem pretreatment untuk air deep well adalah sand filter, carbon filter, dan cartridge filter, sedangkan pretreatment untuk air efluen STP adalah sand filter dan ultrafiltrasi. Kedua air baku hasil pretreatment dicampur dalam RO Feed Tank. Sebelum masuk membran RO, air baku dari RO Feed Tank difiltrasi terlebih dahulu dengan cartridge filter 5 mikron untuk memisahkan jika ada kontaminan partikel dari lingkungan. Sand filter berfungsi untuk memisahkan partikel berukuran lebih besar dari 10 mikron. Carbon filter berfungsi untuk memisahkan kontaminan organik yang ada dalam air deep well. Ultrafiltrasi berfungsi untuk memisahkan mikroorganisme dan makromolekul yang terkandung dalam air efluen STP. Reverse

osmosis berfungsi untuk memisahkan kontaminan terlarut, termasuk garam. Desain RO dibuat double stage. Parameter desain dan operasi sistem ultrafiltrasi dan sistem RO ditunjukkan pada Tabel 1.

Tabel 1. Parameter desain dan operasi sistem ultrafiltrasi dan sistem RO

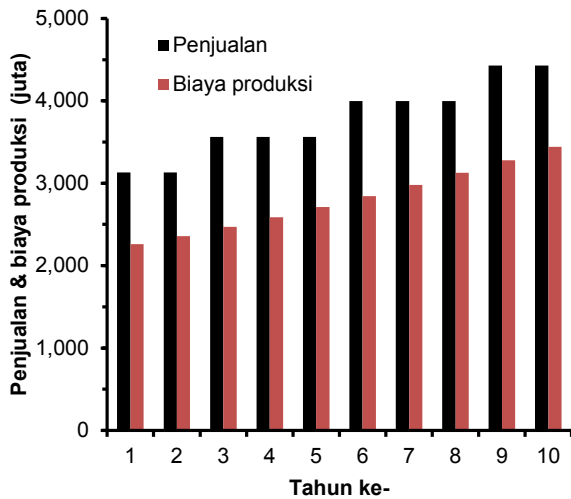
Parameter desain dan operasi	Satuan	Sistem Ultrafiltrasi	Sistem RO
Tipe flow		Outside-in	Cross-flow
Temperatur rata-rata operasi	°C	25	25
Jumlah Membran	Unit	36	36
Rentang pH operasi		6 – 8	6 – 8
Rentang pH cleaning		2 – 13	2 – 13
Tekanan operasi	Bar	0,5 – 1,5	5 – 10
Recovery	%	95 – 98	76 – 80
Life-time membran	Tahun	2	1
Periode cleaning	Hari	7	30

Evaluasi Ekonomi

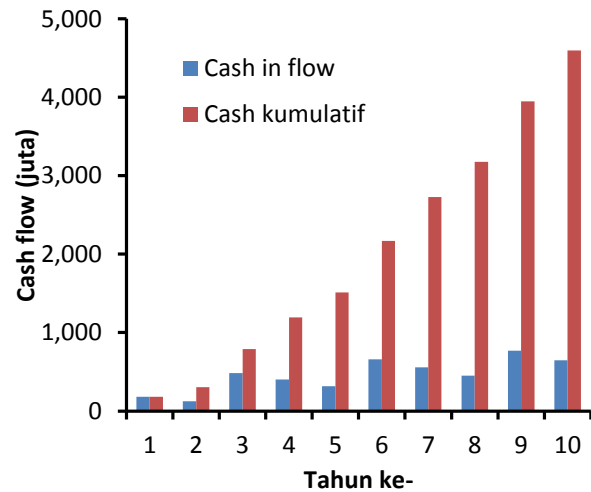
Analisis ekonomi penting dilakukan untuk menilai kelayakan investasi sebelum instalasi dibangun. Proyeksi ekonomi ini didasarkan pada satu studi kasus, yaitu kapasitas rata-rata produksi adalah 220.000 m³/tahun. Jumlah air deep well yang dibutuhkan 138.700 m³/tahun dengan tarif Rp. 4.200/ m³ dan meningkat 5% per tahun tahun. Harga jual air adalah Rp. 14.500/ m³ dan meningkat Rp. 2.000 setiap 2 tahun. Investasi yang dibutuhkan adalah Rp. 3.500.000.000 dimana pinjaman dari bank sebesar Rp. 3.000.000.000. Parameter ekonomi selengkapnya ditunjukkan pada Tabel 2. Untuk perhitungan ekonomi ini, kenaikan tarif listrik, kenaikan harga material, dan kenaikan gaji operator juga dimasukkan sehingga diperoleh hasil evaluasi keekonomian yang lebih riil. Hasil proyeksi nilai penjualan dan biaya produksi ditunjukkan pada Gambar 2, sedangkan nilai cash komulatif ditunjukkan pada Gambar 3. Dapat dilihat dengan jelas bahwa selama empat tahun pertama, nilai cash relatif kecil karena cash in flow yang diperoleh sebagian besar untuk pengembalian modal pinjaman dari bank. Setelah kontrak berakhir (10 tahun), nilai cash yang diperoleh hampir 4,595 miliar rupiah.

Tabel 2. Parameter ekonomi sebagai dasar penilaian kelayakan investasi

Uraian	Unit	Nilai	Uraian	Unit	Nilai
Flow rate air produk	m ³ /hari	600	Kenaikan harga jual air	Rp/2thn	2.000
	m ³ /thn	220.000	Kenaikan pajak air deep well	%/thn	5
Flow rate efluen STP	m ³ /hari	420	Kenaikan tarif listrik	%/thn	3
	m ³ /thn	57.600	Kenaikan harga bahan kimia	%/thn	5
Flow rate deep well	m ³ /hari	380	Kenaikan harga cartridge	%/thn	5
	m ³ /thn	138.700	Kenaikan harga membran UF	%/thn	5
Tarif air tahun pertama	Rp/m ³	14.500	Kenaikan harga membran RO	%/thn	5
Nilai investasi	Rp	3.500.000.000	Kenaikan harga spare part	%/thn	5
Modal	Rp	500.000.000	Kenaikan gaji operator	%/thn	8
Pinjaman Bank	Rp	3.000.000.000	Suku Bunga	%	13



Gambar 2. Profil nilai penjualan dan biaya produksi



Gambar 3. Profil nilai cash flow

Berbagai metode dapat digunakan untuk menilai kelayakan secara ekonomi suatu investasi, antara lain *payback period* (PB), *net present value* (NPV), *internal rate of return* (IRR), atau *benefit cost ratio* (BCR). Setiap metode ini memiliki kelebihan dan kelemahan. Dalam studi ini, metode yang dipilih adalah NPV karena *cash in flow* (CIF) setiap tahun tidak sama. Perhitungan NPV menggunakan persamaan (1) dan CIF pada Tabel 3. Dengan jangka waktu kontrak 10 tahun, nilai NPV sebesar Rp. 310.849.191 menunjukkan bahwa investasinya layak.

$$NPV = \frac{CIF_1}{(1+k)^1} + \frac{CIF_2}{(1+k)^2} + \dots + \frac{CIF_{10}}{(1+k)^{10}} - I_0 \quad (1)$$

Tabel 3. Evaluasi Kelayakan Investasi

Tahun ke	Tingkat diskonto, k	Faktor diskonto, $1/(1+k)^n$	Cash in flow	Present Value
1	0,13	0,8850	481.398.571	426.016.435
2	0,13	0,7831	424.477.500	332.428.146
3	0,13	0,6931	783.013.620	542.667.716
4	0,13	0,6133	703.638.295	431.554.544
5	0,13	0,5428	618.013.305	335.432.862
6	0,13	0,4803	957.779.554	460.039.265
7	0,13	0,4251	858.555.703	364.938.240
8	0,13	0,3762	751.936.688	282.848.400
9	0,13	0,3329	1.069.492.151	356.017.717
10	0,13	0,2946	946.764.756	278.905.866
				3.810.849.191

Kesimpulan

Evaluasi secara teknis dan ekonomi terhadap potensi pengolahan air baku campuran air payau dan air efluen STP dengan sistem membran terintegrasi telah dilakukan. Analisis tekno-ekonomi ini berdasarkan satu studi kasus, yaitu produksi air rata-rata 220.000 m³/tahun dan harga jual air adalah Rp. 14.500/m³ dengan kenaikan harga Rp. 2.000 setiap dua tahun. Sistem membran terintegrasi ini membutuhkan biaya investasi 3,5 miliar rupiah dimana modal pinjaman adalah 3 miliar rupiah dengan suku bunga 13% per tahun. Untuk jangka waktu kontrak 10 tahun, *nilai net present value* (NPV) adalah positif sehingga investasi ini layak.



Ucapan Terima Kasih

Penelitian ini dibiayai oleh Direktorat Riset dan Pengabdian Masyarakat Kementerian Riset, Teknologi dan Pendidikan Tinggi melalui skema Penelitian Unggulan Perguruan Tinggi tahun 2015.

Daftar Pustaka

- Afonso, M.D., Jaber, J.O., Mohsen, M.S., (2004), Brackish groundwater treatment by reverse osmosis in Jordan, *Desalination* 164: 157–171.
- Al-Jlil, S.A., (2012), Apparatus and Process for Desalination of Brackish Water Using Pressure Retarded Osmosis, US Patent No. 8,187,464 B2
- Allama, A.R., Saaf, E-J., Dawoud, M.A. (2002), Desalination of brackish groundwater in Egypt. *Desalination* 152: 19–26.
- A1 Mudaiheem, R.I.S, A1 Yousef, S.O.A., Sharif, T., Islam, A.K.M.A. (1998), Performance evaluation of ten years operation experience of brackish water RO desalination in Manfouha plants, Riyadh. *Desalination* 120: 115–120.
- Ammary, B. Y., (2007), Wastewater reuse in Jordan: Present status and future plans, *Desalination*, 211, 164–176.
- Undang-Undang Republik Indonesia Nomor 32 Tahun 2009 tentang Perlindungan dan Pengelolaan Lingkungan Hidup.
- Al-Zubari, W. K., (2003) Assessing the sustainability of non-renewable brackish groundwater in feeding an RO desalination plant in Bahrain. *Desalination* 159: 211–224.
- Bdour, A. N., Hamdi, M. R., Tarawneh, Z., (2009), Perspectives on sustainable wastewater treatment technologies and reuse options in the urban areas of the Mediterranean region, *Desalination*, 237, 162–174.
- Bixioa, D., Thoeye, C., De Koning, J., Joksimovic, D., Savic, D., Wintgens, T., Melin, T., (2006), Wastewater reuse in Europe, *Desalination*, 187, 89–101.
- Burashi, K., Hussain, A.R., (2004), Seawater RO plant operation and maintenance experience: Addur desalination plant operation assessment, *Desalination*, 165, 11-22
- Chena, H.H., Yehb, H.H., Shiauc, S., (2005), The membrane application on the wastewater reclamation and reuse from the effluent of industrial WWTP in northern Taiwan, *Desalination*, 185, 227–239
- Frenkel, V. and T. Gourgi, 1995. Brackish water RO desalination plant in the Gaza Strip. *Desalination* 101: 47–50.
- Hoinkis, J., Panten, V., (2008), Wastewater recycling in laundries – From pilot to large-scale plant, *Chem. Eng. Process.*, 47, 1159–1164.
- Katsoufidou, K., Yiantsios, S.G., Karabelas, A.J., (2005), A study of ultrafiltration membrane fouling by humic acids and flux recovery by backwashing: Experiments and modeling, *J. Membr. Sci.*, 266, 40–50
- Lashkaripour, G.R. Zivdar, M. (2005), Desalination of brackish groundwater in Zahedan city in Iran. *Desalination* 177: 1–5.
- Leparc, J., Rapenne, S., Courties, C., Lebaron, P., Croué, J. P., Jacquemet, V., Turner, G., (2007), Water quality and performance evaluation at seawater reverse osmosis plants through the use of advanced analytical tools, *Desalination*, 203, 243–255
- Mohsen, M.S.O. A1-Jayyousi, R. (1999). Brackish water desalination: an alternative for water supply enhancement in Jordan. *Desalination* 124: 163–174.
- Molinos-Senante, M., Hernández-Sancho, F., Sala-Garrido, R., (2011), Cost–benefit analysis of water-reuse projects for environmental purposes: A case study for Spanish wastewater treatment plants, *J. Environ. Management*, 92, 3091-3097
- Pais, J. A. G.C.R., Ferr, L. M. G.A., (2007), Performance study of an industrial RO plant for seawater desalination, *Desalination*, 208, 269–275
- Saadi, A. Ouazzani, N. (2004). Perspectives of desalination of brackish water for valorization in arid regions of Morocco. *Desalination* 165: 81.
- SenGupta, A.K, Sarkar, S., (2011), Brackish and Sea Water Desalination Using Hybrid Ion Exchange-Nanofiltration Process, US Patent No. 7,901,577 B2.
- Singh, R., (2006), Hybrid Membrane Systems for Water Purification: Technology, Design, and Operations, 1st ed., Elsevier Science & Technology Books
- Sri Budiayati, C., Widiyasa, I N, (2007), Kombinasi Proses Oksidasi dan Ultrafiltrasi untuk Penurunan Kasar Fe/Mn dalam Air Sumur, Prosiding Seminar Nasional, Teknik Kimia UNPAR, Bandung, 26 April
- Susanto, H., Ulbricht, M., (2006), Performance of surface modified polyethersulfone membranes for ultrafiltration of aquatic humic substances, *Desalination*, 199, 384–386
- Tam, L.S., Tang, T.W., Lau, G.N., Sharma, K.R., Chen, G.H., (2007), A pilot study for wastewater reclamation and reuse with MBR/RO and MF/RO systems, *Desalination*, 202, 106–113





- Walha, K., Amar, R. B., Firdaous, L., Quéméneur, F., Jaouen, P., (2007), Brackish groundwater treatment by nanofiltration, reverse osmosis and electrodialysis in Tunisia: performance and cost comparison, *Desalination*, 207, 95–106.
- Wenten, I G., NurRahayu, L.I., Widiassa, I N., (1998), Pengolahan Air Gambut dengan Reverse Osmosis, Prosing Seminar Aplikasi dan Fundamental Teknik Kimia, Jurusan Teknik Kimia ITS, Surabaya, November.
- Widiassa, I N., Wenten, I G., (2005), Pengaruh Perlakuan pH dan Recovery Factor Terhadap Fluks dan Karakteristik Permeat Reverse Osmosis, Prosiding Seminar Nasional Tjipto Utomo, 2005, ITENAS, Bandung, 31 Agustus.
- Widiassa, I N., Wenten, I G., (2007), Studi Efektivitas Pencucian Membran Reverse Osmosis Instalasi Air Minum Rumah Tangga, Prosiding Seminar Nasional Fundamental dan Aplikasi Teknik Kimia 2007, ITS, Surabaya, 15 November.
- Widiassa, I N., (2007), Teknologi Reverse Osmosis untuk produksi air minum: Fundamental Proses dan Tinjauan Aspek Ekonomi, Prosiding Seminar Nasional, Teknik Kimia UNPAR, Bandung, 26 April.
- Widiassa, I N., Susanto, A.A., Susanto, H., (2011), Performance of an Ultrafiltration Membrane Pilot System for Treatment of Waste Stabilization Lagoon Effluent, *J. Environ. Sci. Eng.* 5, 962 – 970.
- Yang, H., Abbaspour, K. C., (2007), Analysis of wastewater reuse potential in Beijing, *Desalination*, 212, 238–250.





Lembar Tanya Jawab

Moderator : Didi Dwi Anggoro (UNDIP Semarang)

Notulen : Handrian (UPN "Veteran" Yogyakarta)

1. Penanya : Hanif (UPN)

Pertanyaan : Masalah lokasi apakah didekat hotel atau sumber air, lalu apakah sistem membran terintegrasi butuh space yang luas seluas apa?

Jawaban : Sistem membran terintegrasi ini tidak membutuhkan tempat yang luas, biasanya kami yang menyesuaikan dengan lokasi konsumen.
2. Penanya : Ariawan (UPN)

Pertanyaan : Reverse osmosis tidak bisa dibackwash lalu strategi apa jika terjadi clogging? Seberapa kompetitif sistem ini?

Jawaban : Pretreatment sebelum masuk membran dilakukan dengan sand filter lalu cartridge filter, 2 alat tersebut harus bekerja optimal, agar suspended solid tidak terikut. Kompetitif di wilayah-wilayah yang kesulitan air bersih dan wisata, biasanya di hotel-hotel Bali dan Jakarta.

