Workshop Air Daur Ulang dalam Persepektif Hukum Islam.
Jakarta, 17 Maret 2009

PENERAPAN AIR DAUR ULANG DI BERBABAGAI NEGARA

Oleh:
Suprihatin
Departemen Teknologi Industri Pertanian, Fakultas Teknologi Pertanian IPB
Kampus IPB Darmaga Bogor
Telp./Telp: 0251-8621 974 / 8621 974, email: suprihatin@indo.net.id

MAJELIS ULAMA INDONSIA
Gedung Majelis Ulama Indonesia, Jl. Proklamasi No. 51
Jakarta Pusat

PENERAPAN AIR DAUR ULANG DI BERBAGAI NEGARA

Suprihatin
Departemen Teknologi Industri Pertanian, Fakultas Teknologi Pertanian IPB
Kampus IPB Darmaga Bogor
Telp./Telp: 0251-8621 974 / 8621 974, email: suprihatin@indo.net.id

Abstrak

Sejak sekitar dua atau tiga dekade ini penggunaan air daur ulang mendapat perhatian khusus. Hal ini disebabkan oleh peningkatan pesat kebutuhan air dan penurunan kualitas sumber air akibat dari peningkatan jumlah penduduk, laju urbanisasi dan perkembangan industri. Perkembangan teknologi saat ini telah mampu memproduksi air daur ulang dengan kualitas yang tinggi dengan waktu lebih cepat dalam ruang yang terbatas. Aaur ulang air yang pada awalnya terbatas untuk irigasi pertanian / penyiraman tanaman telah berkembang kearah penggunaan yang lebih luas, seperti untuk keperluan industri dan rumah tangga. Pilot project telah banyak dilakukan di berbagai negara dan sebagian diantaranya telah diterapkan dalam skala teknis dan ekonomis. Paper ini menyajikan peluang dan kendala penggunaan air daur ulang berdasarkan hasil penelitian dan pengalaman dari berbagai negara. Bahasan mencakup polutan dalam air limbah, perkembangan teknologi pengolahan air, tipe daur ulang air limbah, studi kasus dari berbagai negara, kendala pemanfaatan air daur ulang, dan beberapa rekomendasi penamfaatan air daur ulang untuk situasi di Indonesia.

Kata kunci: air limbah domestik, teknologi pengolahan air, air daur ulang

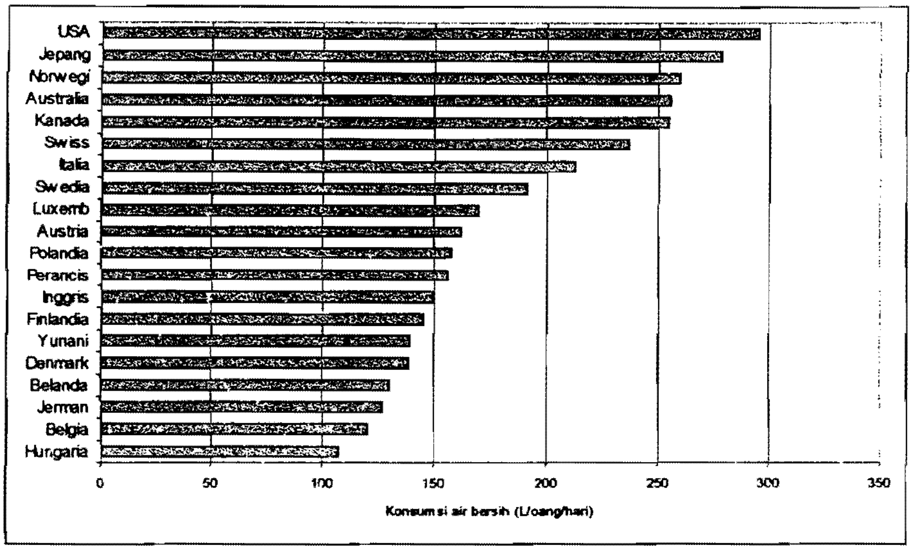
1. PENDAHULUAN

Air merupakan kebutuhan utama untuk berbagai aktivitas manusia misalnya untuk keperluan irigasi, rumah tangga, dan industri. Kebutuhan air per kapita bervariasi dari satu negara ke negara lainnya, dan dipengaruhi oleh banyak faktor, antara lain jenis aktivitas, tingkat ekonomi, tingkat pendidikan, kesadaran lingkungan, ketersediaan air, harga air, dan musim / cuaca. Gambar 1 menunjukkan kebutuhan air bersih untuk keperluan domestik di berbagai negara. Masyarakat Amerika Serikat (USA) rata-rata menggunakan air lebih banyak dibandingkan negara lain, yaitu mencapai 295 L/orang/hari. Untuk keperluan perencanaan, kebutuhan air bersih di Indonesia sering digunakan angka perkiraan pemakaian air sekitar 125-150 L/orang/hari.

Selain untuk keperluan rumah tangga, air bersih juga dibutuhkan oleh industri dalam jumlah yang besar. Di dalam industri air tersebut digunakan sebagai air proses, air pendingin, pencuci, dll. Besarnya kebutuhan air untuk industri ditentukan terutama oleh jenis industri dan jenis teknologi proses yang diterapkan. Industri besar dan membutuhkan air dalam jumlah besar biasanya membangun instalasi pengolahan air sendiri dan tidak mengambil dari suplai air publik.

Sumber air baku untuk memenuhi berbagai keperluan air bersih terutama adalah air tanah dan air permukaan (sungai, danau) yang terlindungi dari pencemaran. Di daerah yang tidak memiliki cukup air permukaan dan air tanah, kebutuhan air dapat dipenuhi melalui desalinasi air laut atau daur ulang air limbah untuk keperluan tertentu. Potensi daur ulang air tergantung pada jumlah dan karakteristik air limbah. Karakteristik ini menentukan metode dan derajat pengolahan yang diperlukan. Sementara daur ulang air untuk keperlukan irigasi membutuhan tingkat pengolahan yang relatif lebih sederhana, opsi penggunaan air daur ulang untuk keperluan industri dan domestik (*direct dan indirect potable*) membutuhkan tingkat pengolahan yang jauh lebih kompleks.

Paper ini menguraikan daur ulang air untuk keperluan industri dan domestik, mencakup ulasan mengenai jenis polutan dalam air limbah dan pengaruhnya pada kesehatan, perkembangan teknologi pengolahan air, tipe daur ulang air, studi kasus dari berbagai negara, kendala pemanfaatan air daur ulang, dan beberapa rekomendasi pemanfaatam air daur ulang untuk situasi di Indonesia.



Gambar 1. Kebutuhan air bersih untuk keperluan domestik di berbagai negara (Schmitz, 1999)

2. PULUTAN DALAM AIR LIMBAH

Setelah digunakan untuk keperluan domestik atau industri, air dibuang sebagai air limbah. Tergantung pada jenis pemakaian air tersebut, air yang telah dipakai tersebut terkontaminasi oleh berbagai bahan polutan, seperti karbohidrat, lemak, protein, lignin, sambun, deterjen sitentik, serta berbagai bahan alami dan bahan kimia sintetik. Polutan-polutan tersebut berada di dalam air dalam bentuk tersuspensi (*suspended solids*/SS) atau terlarut (*dissolved solids*/DS), dan berasal terutama dapur, kamar mandi, toilet / WC, laundry, dan pembersihan lantai. Karakteristik air limbah domestik bervariasi dari waktu ke waktu, dari kota ke kota, dan dari negara satu ke negara lainnya, tergantung struktur komunitas, kebiasaan hidup masyarakat, jenis aktivitas, tingkat ekonomi dan kesadaran lingkungan dan lain-lain. Tabel 1 menunjukkan tipikal karakteristik air limbah domestik. Air limbah domestik umumnya banyak mangandung unsur hara (nitrogen, fosfor) dan bahan organik (BOD_5, COD, TOC) yang mudah terdegrasi secara biologis (Hammer, dan Hammer, 1996; Henry dan Heinke, 1996).

Air limbah domestik juga mengandung berbagai macam bahan anorganik baik berasal dari sumber domestik maupun kegiatan komersial dan proses industri, termasuk sejumlah elemen yang berpotensi toksik seperti arsen, kadmiun, krom, tembaga, air raksa, dan seng. Dalam sudut pandang kesehatan, kontaminan air limbah terpenting adalah mikroorganisme pathogen. Mikroorganisme pathogen penting yang sering dijumpai dalam air limbah domestik adalah *Salmonella* spp, *Enteroviruses, Rotaviruses,* dan cacing *(intestinal nematodes)* (Nathanson, 1997; Henry dan Heinke, 1996). Metode penelitian / karakterisasi air dan air limbah diuraikan di berbagai literatur, antara lain Alaerts (1987).

Tabel 1. Karakteristik dan beban air limbah domestik

	Pameter								
	BOD_5	SS	DS	COD	TOC	P_1	P_2	TKN (N_{org}+NH_4-N)	NO_2-N
Konsentrasi (mg/L)	190	225	450	320	135	4	10	40	0
Per kapita (g/hari)	76	90	180	128	54	1,6	4	16	0

Keterangan: P_1 : Fosfor dari manusia, P_2 : total fosfor (dengan PO_3^{4+} dari deterjen)
Sumber: Henry and Heinke (1996)

Pengujian secara spesifik mikrorganisme tersebut, seperti *Salmonella typhosa* (penyebab tipus), atau *Enthamoeba hystolica* (penyebab desentri), sangat rumit dan tidak praktis serta membutuhkan waktu dan biaya tinggi. Pendekatan praktis yang biasa diterapkan menggunakan mikroorganisme indikator. Pendekatan ini didasarkan pada pemikiran bahwa jika air dalam air contoh mengandung mikroorganisme indikator, maka dapat diasumsikan bahwa air tersebut 'mungkin' tercemar oleh organisme pathogen dan dapat merupakan ancaman bagi kesehatan manusia. Sebagai mikroorganisme indikator adalah *Eschericia Coli*, yaitu suatu jenis bakteri yang terdapat dalam jumlah banyak di kotoran manusia. Bakteri ini relatif jauh lebih tahan hidup (*survive*) di dalam air dibanding dengan kebanyakan bakteri pathogen, sehingga secara umum dapat dikatakan bahwa jika dalam air contoh tidak ditemukan bakteri *E. coli*, maka air tersebut tidak tercemar oleh kotoran manusia, dan mikroorganisme pathogen hampir dapat dipastikan tidak ada di dalam air tersebut. Jika bakteri *E. Coli* ditemukan dalam contoh air, air tersebut didikan tercemar kotoran manusia dan kemungkinan mengandung bakteri pathogen (Nathanson, 1997).

Melalui proses pengolahan secara fisik, kimia, biologis atau kombinasinya, polutan-polutan dalam air limbah tersebut dapat diendapkan, didegradasi atau disisihkan dari air, hingga air mencapai tingkat kualitas tertentu dan dapat digunakan lagi untuk berbagai keperluan. Kualitas air hasil olahan sangat tergantung pada karakteristik air limbah dan tingkat pengolahan yang diterapkan.

3. TEKNOLOGI PROSES

Jenis teknologi pengolahan air limbah yang diperlukan tergantung pada peruntukan air hasil olahan. Apabila air hasil olahan dimaksudkan untuk dimanfaatkan laig, hal ini memerlukan persyaratan teknologi pengolahan yang lebih ketat, yang umumnya memerlukan proses pengolahan melalui berbagai tahapanan proses. Pengolahan air limbah hingga menjadi air daur ulang dapat dibagi menjadi tiga tahapan yaitu tahapan pengolahan primer, pengolahan sekunder dan pengolahan tersier / pengolahan tingkat lanjut. Uraian proses tersebut secara rinci dapat dijumpai di berbagai literatur, antara lain Corbitt (1990), Henry dan Heinke (1996), Hammer dan Hammer (1996), dan Nathanson (1997).

<u>Pengolahan Primer.</u> Pengolahan primer merupakan pengolahan / penanganan air limbah secara fisik untuk menyisihkan benda-benda terapung atau padatan tersuspensi terendapkan (*settleable solids*). Pada umumnya, pengolahan primer ini berupa penyaringan kasar, penyisihan bahan padatan seperti butiran pasir / tanah, serta sedimentasi primer.

Saringan kasar digunakan untuk menahan benda berukuran relatif besar seperti kertas, plastik, daun, dan tangkai, karena benda tersebut dapat menimbulkan gangguan pada peralatan pengolahan air limbah (misalnya pompa). Saringan kasar hanya dapat menyisihkan benda berukuran relatif besar, tidak untuk yang berkuran kecil seperti butiran pasir atau tanah. Karena butiran pasir / tanah ini merupakan bahan *non-biodegradable* dan dapat terakumulasi di dasar instalasi pengolahan air limbah, maka bahan tersebut harus dipisahkan dari air limbah yang akan diolah. Penyisihan butiran pasir / tanah dapat dilakukan dengan pengurangan kecepatan aliran air limbah melalui pembesaran penampang saluran air limbah sehingga kecepatan aliran air limbah menurun. Dengan kecepatan sekitar 0,3 m/s, butiran pasir atau tanah dapat terendapkan di dasar saluran, sehingga dapat dipisahkan dari air limbah yang akan diolah.

Setelah mengalami proses penyisihan benda kasar dan butiran pasir / tanah, air limbah masih mengandung padatan tersuspensi yang dapat disisihkan secara fisik melalui sedimentasi primer (*primary clarifier*). Sedimentasi priner ini biasanya dirancang dengan waktu tinggal sekitar 2 jam, dengan kedalaman sekitar 2,5 – 5 m. Pengolahan primer ini hanya dapat menghilangkan atau mengurangi kandungan bahan yang mengambang atau bahan yang dapat terendapkan oleh gaya grafitasi. Sebagian polutan air limbah terdapat dalam bentuk tersuspensi atau terlarut yang relatif tidak terpengaruh oleh pengolahan primer tersebut, sehingga sebagian besar polutan masih terkandung di dalam efluen pengolahan primer.

Pengolahan Sekunder. Pengolahan sekunder berjuan untuk menghilangkan / mengurangi kandungan polutan tersuspensi atau terlarut. Hampir semua proses pengolahan sekunder merupakan sistem biologis anaerob.

Pengolahan air limbah secara biologis pada prinsipnya adalah memanfaakan kemampuan mikroorganisme seperti bakteri dan protozoa. Mikroba tersebut mengkonsumsi polutan organik *biodegradable* sebagai sumber energinya dan mengkonversi polutan organik tersebut menjadi karbon dioksida, air dan energi untuk pertumbuhan dan reproduksinya. Pada proses perombakan secara aerob ini diperlukan oksigen. Oleh karena itu, sistem pengolahan biologis harus mampu memberikan kondisi yang baik bagi aktivitas mikroorganisme, sehingga mikroorganisme tersebut dapat menstabilkan polutan organik *biodegradable* secara optimal. Guna mempertahankan agar mikroorganisme tetap aktif dan produktif, mikroorganisme tersebut harus dipasok dengan oksigen yang cukup, cukup waktu untuk kontak dengan polutan organik, temperatur dan komposisi medium yang sesuai. Perbandingan BOD_5 : N : P = 100 : 5 : 1 dianggap optimal untuk proses pengolahan air limbah secara aerobik pada umumnya (Capps, Montelli and Dradford, 1995). Sistem pengolahan air limbah yang umum diterapkan untuk pengolahan sekunder air limbah adalah sistem lumpur aktif (*activated sludge*), modifikasi sistem lumpur aktif (aerasi bertahap, aerasi diperluas (*extended aeration*), kontak stabilisasi, dan aerasi dengan oksigen murni, *trickling filter, Biodisc atau Rotating Biological Contactor* (RBC), dan kolam oksidasi (*oxidation ditch*) (Corbitt , 1990; Hammer dan Hammer, 1996).

Dengan pengolahan sekunder, BOD_5 dan TSS (*total suspended solids*) air limbah dapat dikurangi hanya sebesar sekitar 85 – 95 persen. Pada umumnya, efluen unit pengolahan sekunder masih mengandung BOD_5 sekitar 30 mg/mL. Selain itu, instalasi pengolahan sekunder memiliki keterbatasan yaitu tidak dapat menurunkan kandungan nitrogen dan fosfor secara signifikan.

Pengolahan Tersier. Untuk meningkatkan kualitas efluen dibutuhkan pengolahan tambahan, yang dikenal sebagai pengolahan tersier atau pengolahan tingkat lanjut (*advanced waste water treatment*). Pengolahan tersier umumnya dapat mengurangi lebih dari 99 persen polutan dari air limbah dan dapat menghasilkan efluen dengan kualitas yang baik. Proses pengolahan tersier yang biasa diterapkan antara lain penghilangan fosfor (secara kimia maupun biologis), penghilangan nitrogen (nitrifikasi dan enitrifikasi), perbaikan efluen dengan koagulasi/flukulasi, sedimentasi, filtrasi, dan disinfeksi untuk mendestruksi mikroorganisme pathogen. Teknologi penjemihan air yang belakangan ini berkebangan pesat adalah teknologi membran. Ada beberapa jenis membran untuk pengolahan air, yaitu mikrofiltrasi, ultrafiltrasi, nanofiltrasi, atau hiperfiltrasi / reversed osmosis. Dengan teknologi ini berbagai bahan polutan yang terdapat di dalam air, dan dapat menghasilkan air yang bebas partikel termasuk bateri dan virus (Cheryan, 1986; Fane dan Radovich, 1990; Rautenbach, 1994; Scott dan Hughes, 1996).

Tabel 2 menunjukkan tipikal kualitas air dari berbagai tingkatan pengolahan. Perlu dicatat bahwa tidak ada satupun proses tunggal yang mampu menghasilkan air dengan kualitas yang memenuhi persyaratan kesehatan secara konsisten. Untuk menghasilkan air yang demikian diperlukan serangkaian tahapan proses. Rekomendasi proses pengolahan yang yang dapat diterapkan untuk memenuhi kriteria air daur ulang untuk keperluan industri dan masyarakat disajikan pada Tabel 3. Untuk keperluan masyarakat dapat digolongkan menjadi dua, yaitu air tidak dapat diminum (*non-potable water*) dan air dapat diminum (*potable water*). Dari tabel tersebut terlihat bahwa persyaratan pengolahan air limbah hingga menjadi menjadi air *potable* kompleks.

Tabel 2. Tipikal kualitas air dari berbagai tingkat pengolahan

No.	Tingkat pengolahan	BOD (mg/L)	COD (mg/L)	SS (mg/L)	Kekeruhan (TU)	Fosfor (mg/L)	NH_4-N (mg/L)	Warna (Units)	Koliform (MPN/100mL)
1	Air limbah segar (belum diolah)	300	500	250	-	12	25	-	10^8
2	Pengolahan primer (1)	200	250	100	-	9	25	-	10^7
3	Pengolahan sekunder (2)	30	60	30	-	6	25[a]	-	10^6b
4	1 + 2 + filtrasi (3)	5	40	10	5	6	25	30	<2,2[c]
5	1 + 2 + koagulasi + sedimentasi (4) + 3	2	30	<1	<1	<1	25	30	<2,2[c]
6	1 + 2 + 4 + karbon aktif (5) + 3	<1	10	<1	<1	<1	25	10	<2,2[c]

Keterangan:
Sumber: Montgomery (1985)
[a]NH_4-N dapat tereduksi jika pada tahapan ini dilakukan nitrifikasi
[b]Koliform dapat tereduksi jika pada tahapan ini dilakukan disinfeksi
[c]Tingkat koliform aktual tergantung pada mode operasi dan derajat disinfeksi yang diberikan

4. TIPE DAUR ULANG AIR DAN PERSYATAN KUALITAS

Latar belakang daur-ulang air dapat bermacan-macam. Faktor-faktor berikut dapat menjadi motivasi atau alasan digunakannya air daur ulang: i) Tidak tersedianya cukup sumber air yang berkualitas tinggi dengan biaya terjangkau, ii) Untuk meminimumkan biaya infrastruktur, termasuk biaya pengolahan dan biaya pembuangan air limbah, iii) Untuk mereduksi dan meneliminasi biaya pembuangan air limbah (baik yang sudah atau belum diolah) ke lingkungan, iv) Untuk mengelola sumber air *in-situ*, dan v) Untuk memenuhi tuntutan masyarakat, institusi dan politis.

Tabel 3. Pruses pengolahan yang dianjurkan untuk memenuhi kriteria air daur ulang untuk keperluan industri dan masyarakat

No.		Penggunaan Industri	Penggunaan masyarakat	
			Non-potable	*Potable*
1	Kriteria kesehatan	A atau B	A	C
2	Pengolahan primer	•••	•••	•••
3	Pengolahan sekunder	•••	•••	•••
4	Filtrasi pasir atau metode sejenis	•	•••	••
5	Nitrifikasi	•		•••
6	Denitrifikasi			••
7	Klarifikasi kimiawi	•		••
8	Adsorpsi dengan karbon aktif			••
9	Ion exchange atau metode lain untuk penyisihan ion	•		••
10	Disinfeksi	•	•••	•••[a]

[a]A = eliminasi padatan terendapkan dengan sedimentasi (ini secara signifikan juga menguraikan telor parasit), ditambak pengehilangan bakteri dan virus, B = tidak lebih dari 100 koliform per 100 mL di dalam 80% sampel, C = tidak ada orgamisme koliform di dalam 100 mL, tidak ada virus dalam 1000 mL, tidak ada dampak toksik pada manusia, dan memenuhi kriteria air minum lainnya

Untuk memenuhi persyaratan kesehatan, proses yang diberi tanda ••• adalah esensial. Selain itu, satu atau lebih proses yang diberitanda •• juga esensial, dan proses lebih lanjut yang diberi tanda • kadang-kadang diperlukan.

Sumber: WHO (1973) dalam Montgomery (1985)

Penggunaan ulang air sering sebagai pelengkap sumber air yang ada, terutama di walayah kering, seperti di Negara Israel, Afrika Selatan, dan wilayah kering USA. Termasuk di daerah yang cukup hujan, akabit variabilitas temporal dan spasial, juga sering dijumpai kekurangan air, sehingga daur ulang air menjadi altemetif sumber air tambahan di wilayah kurang tersebut. Tingginya biaya terkait dengan pengadaan air dan biaya pembuangan air limbah juga sering menjadi pertimbangan utama dalam daur ulang air. Pengaruh positif daur ulang air pada reduksi biaya pengolahan air limbah dan pasokan air bersih, serta untuk mereduksi biaya pemonpaan dan sistem distribusi menjadi motivasi daur ulang air di Negara-negara serperti Jepang.

Daur ulang air sering dikaitkan dengan metode pengelolaan leingkungan dan sumberdaya air. Sebagai contoh, penurunan permukaan air tanah dapat diperbaiki dengan menginjeksikan air limbah yang telah diolah, sehingga deplesi air tanah dapat dipulihkan atau mencegah terjadinya instrusi air laut di zona pantai. Pencegahan timbulnya masalah akibat pembuangan air limbah ke lingkungan merupakan faktor lain yang mendorong penggunaan ulang air. Sementara unsur hara (nutrien) dalam air limbah dapat membantu pertumbuhan tanaman jika digunakan secara terkendali sebagai irigarasi. Namun, apabila air limbah dibuang ke perairan umum, nutrien dapat menyebabkan gangguan ekosistem (eutrofikasi) dan pendangkalan, serta mengganggu estetika.

Perhatian terhadap pasokan air dan polusi lingkungan berkebang sebagai akibat dari semakin meningkatnya keperdulian masyarakat terhadap lingkungan. Perhatian masyarakat tentang kualitas air limbah yang dibuang lingkungan dapat mengarah pada tekanan politis pada penghasil air limbah untuk mengolah air limbahnya ke tingkat yang lebih tinggi sebelum dibuang ke lingkungan. Hal ini dapat dicapai melalui penggunaan ulang air limbah. Institusi pemerintah sering memberikan insentif bagi yang menerapkan daur ulang air, baik untuk keperluan irigasi, maupun untuk proses industri dan pemukiman perkotaan.

Penggunaan ulang air dapat dikatogorikan menjadi beberapa yaitu untuk irigasi pertanian dan landcape, daur ulang industri, pemulihan permukaan air tanah, maupun untuk keperluan masyarakat (Tabel 4). Daur ulang air untuk keperluan industri merupakan opsi utama kedua setelah irigasi, baik di negara sedang berkembang maupun negara maju. Air daur ulang dapat menjadi solusi untuk industri yang membutuhkan air dalam jumlah besar tetapi tidak perlu air berkualitas tinggi. Tergantung pada jenis industri, air daur ulang dapat digunakan untuk air pendingin, air umpan boiler, dan air proses. Air pendingin di mayoritas industri merupakan pengguna air terbesar. Dibandingkan dengan air umpan boiler dan air proses, persyaratan air pendingin relatif tidak tinggi. Dengan alasan tersebut, penggunaan air daur ulang sebagai air pendingin merupakan kesempatan terbesar untuk daur ulang air. Masalah operasional yang sering timbul dalam sistem resirkulasi air pendingin adalah masalah kualitas air daur ulang, karena kenderung menyebabkan timbulnya kerak, korosif, pertumbuhan mikroorganisme, dan fouling. Masalah ini masih menjadi tantangan bagi pengembangan teknologi lebih lanjut.

Tabel 4. Kategori pengguaan air daur ulang

No.	Kategori daur ulang air
1	Irigasi pertanian: irigasi tananam, irigasi pembibitan
2	Irigasi landcape: tanam/kebun, halaman sekolah, pembatas / median jalan, lapangan golf, jalur hijau, pemukiman
3	Recyling dan daur ulang industri: air pendingin, air boiler, air proses, dan konstruksi
4	Pemulihan permukaan air tanah: penggantian air tanah, pengendalian instruksi air laut, pengendalian surut
5	Penggunaan lingkungan/rekreasi: danau dan rawa, perikanan,
6	Non-potable reuse: pemadam kebaran, pembesihan toilet
7	Potable reuse: dicampur ke dalam reservoir air bersih, dambungan dari pipa ke pipa

Sumber: Montgomery (1985)

Pengolahan air limbah hingga memenuhi kriteria kualitas tinggi dapat dirancang untuk tujuan daur ulang untuk berbagai tujuan. Daur ulang air untuk keperluan non-potable dalam mereduksi konsumsi air bersih dari sumber lain, dan reduksi volume buangan air limbah. Dengan demikian, daur ulang air dapat berkontribusi terhadap konservasi sumber daya air. Daur ulang air untuk tujuan non-potable dapat dirancang baik dalam rumah tangga/bangunan tunggal atau pada skala besar melalui sistem retikulasi yang dimaksudkan hanya untuk memasok air non-portable.

Meskipun terdapat potensi pamanfaatan air daur ulang air, akan tetapi hingga saat masih terdapat kesulitan-kesulitan dalam menetapkan stardar kualitas untuk semua tipe penggunaan. Beberapa Negara di Eropa, panduan standar dari WHO (*World Health Organization*) atau USEPA (*the US Environmental Protection Agency*) menjadi dasar pengambilan keputusan untuk setiap pemberian ijin penggunaan ulang air limbah. Negaran seperti Rusia, Israel dan Tunisia mengembangkan sendiri standar untuk penggunaan ulang air limbah. Beberapa negara, termasuk Indonesia, belum memiliki standar atau panduan rinci untuk recycling dan penggunaan ulang air limbah.

Standar kualitas air bersih atau air minum yang ada saat ini dikebangkan untuk maksud air bersih atau air minum hasil pengolahan air baku yang diambil dari air tanah atau air permukaan (air danau, air sungai) yang terlindungi dari pencemaran. Sebagai konsekuensinya, standar kualitas tersebut tidak dapat digunakan untuk air daur ulang yang kualitas air bakunya lebih rendah dan kadar polutan sangat tinggi. Oleh karena itu, standar yang lebih ketat harus diterapkan untuk menjamin kualitas air daur ulang pada tingkat yang dapat diterima. Untuk keperluan tersebut masih diperlukan kajian toksikologi dan epidemiologi dalam periode waktu tahunan untuk mengidentifikasi masalah-masalah yang mungkin timbul dan untuk menghasil dasar penetapan kriteria standar kualitas yang ada artinya bagi masyarakat.

5. STUDI KASUS

Pengalaman dari negara maju, seperti USA, Jepang dan Australia (Vigneswaran and Sundaravadivel, 2004), sistem pemanfaatan air daur ulang dapat dibedakan menjadi dua, yaitu sistem individual dan sistem kolektif. Di beberapa belahan dunia, karena pertimbangan geografik dan ekonomi tidak memungkinkan untuk mengadakan fasilitas pengumpulan air limbah dan mengolahannya secara terpusat. Air limbah dari tempat tinggal atau fasilitas individual di daerah seperti ini ditangani di tempat secara individual, yang umumnya berupa septic tank atau pembuangan ke saluran sebagai tempat penanganan dan pembuangan akhir.

Segregasi air limbah yang relatif tidak tercemar *(gray water)* dari air limbah yang tercemar berat (*black water,* air dari toilet, dapur, WC dan air bekas pencucian pakaian kotor), berpotensi untuk dimanfaatkan ditingkat rumah tangga atau bangunan secara individual dengan pengolahan yang minimal. Ada beberpa pola pemanfaatan air limbah ditingkat individual ini. Misalnya di California, *gray water* diolah secara primer (sedimentasi) dan hasilnya sering dimanfaatkan untuk menyiram kebun. Sistem ini telah diterapkan beberapa tahun dan tidak ditemukan adanya masalah kesehatan yang terkait dengan penggunaan air tersebut. Di Jepang, sistem pemanfaatan air limbah dirancang sedemikian rupa sehingga air bekas dari pencucian tangan (*wash tafel*) yang airnya relatif tidak tercemar dialirkan menuju tempat penampungan air untuk pencucian toilet. Dengan cara ini dapat dihemat penggunaan air untuk pencucian toilet.

Pola daur ulang air limbah individual skala lebih besar dijumpai di Taronga Zoological Park di Sydney, yang dioperasikan tahun 1996. Sebelum pengoperasian fasilitas ini, air limbah dan air hujan dari kebun binatang tersebut dibuang dengan pengolahan yang kurang efektif ke pelabuhan Sidney, sehingga menyebabkan bau, warna dan ganguan estetika lainnya. Dengan pemanfaatan air limbah di lokasi tersebut, pihak kebun binatang tersebut mengolah semua air limbahnya dan mendaur-ulang sekitar 200 m^3/hari untuk membersihkan kandang, menyiram tanam dan pekarangan, pembersihan toilet umum dan mengisi parit-parit ornamen.

Daur ulang air di beberapa negara maju juga dilakukan secara kolektif skala besar dengan sistem retikulasi ganda *(dual reticulation system).* Sistem retikulasi adalah konsep daur ulang air untuk daerah perkontaan dimana terdapat sistem pengolahan air limbah terpusat skala besar. Sistem ini memasok air daur ulang ke rumah-rumah, dan kompeks perdagangan / perkantoran / perbelanjaan melalui jaringan perpipaan yang terpisah dari sistem perpipaan untuk air minum. Pasokan air daur ulang ini digunakan untuk keperluan pembersihan toilet, penyiraman halaman / taman dan aktivitas lain yang membutuhkan air dengan kualitas tidak terlalu tinggi. Dengan demikian, rumah tangga atau gedung-gedung memiliki dua jalur pasokan air, satu untuk air minum atau air yang kontak dengan manusia, dan yang kedua memasok air untuk keperluan *non-potable* dan tidak kontak dengan manusia. Berikut ini diuraikan studi kasus penerapan sistem retikulasi ganda di beberapa Negara, yaitu USA, Jepang dan Australia (Vigneswaran and Sundaravadivel, 2004).

USA. Kota Altamonte Springs, dekat Orlando di Florida, USA memiliki pola penggunaan ulang air untuk keperluan *non-potable* bagi penduduk dengan sistem retikulasi ganda. Insentif untuk membangun pola daur ulang air ini datang dari keperdulian untuk memelihara kualitas danau yang menerima pembuangan air limbah dari kota tersebut, dan kebutuhan untuk membatasi pengambilan air tanah dari daerah tersebut.

Untuk keperluan daur ulang air tersebut, air limbah diproses melalui tahapan: i) pengolahan primer (dengan tanki-tanki sedimentasi), ii) pengolahan sekunder (pengolahan secara biologis termasuk nitrifikasi), iii) pengolahan tersier dengan koagulasi, filtrasi, reaersi dan disinfeksi dosis tinggi, dan iv) deklorinasi dan pengendalian pH. Pengengendalian proses secara komprehensif dan kontinu serta peralatan laboratorium disediakan mendukung sistem pengolahan air tersebut. Suatu sistem perpipaan dengan diameter relatif kecil dirancang untuk distribusi air tersebut. Sistem ini melayani sekitar 45.000 penduduk, dan air daur ulang digunakan untuk penyiraman halaman / tanaman di kompleks industri, kemersial dan pemukiman umum (termasuk untuk mengairi lahan sebuah rumah sakit umum), serta untuk mengairi ruang / lahan terbuka. Sebagian air daur ulang dialirkan ke bangunan perkantoran dan apartemen untuk penbersihan toilet dan bahkan untuk air pendingin industri (*once-through cooling*). Air juga digunakan untuk pengendalian air danau, pencucian mobil, dan pasokan air muncur. Sikitar 30-40 persen dari penggunaan air dipasok dari sistem retikulasi ganda, yang mengasilkan sekitar 45 Mega liter per hari. Pemberian konsultasi terhadap masyarakat yang dikombinasikan dengan advokasi yang kuat dari otoritas pemasok air perkotaan menghasilkan secara umum penerimaan masyarakat tentang sistem daur ulang air ini. Peraturan kota bahkan telah diamandemen untuk menwajibkan masyakatan untuk membuat sambungan ke jaringan air daur ulang. Kekawatiran akan resiko kesehatan masyarakat tidak terbukti karena tidak ditemukan adanya dampak terhadap kesehatan yang terdeteksi selama enam tahun operasi dari tahun 1989 sampai dengan 1995.

Japang. Japang memiliki sejarah panjang tentang reklamasi dan daur ulang air limbah. Pada tahun 1951, efluen instalasi pengolahan air limbah Mikawashima di Tokyo diuji-cobakan untuk pasokan air industri kertas yang ada dekatnya. Saat ini, Jepang merupakan negara yang maju di dalam kebijakan dan program recycling dan pengunaan ulang air dengan tujuan untuk pengembangan pengendalian pencemaran, perlindungan lingkungan, dan untuk keyamanan lingkungan pemukiman. Air limbah yang telah diolah juga digunakan untuk mencuci kereta api dan memenuhi sebagai kebutuhan air instalasi insinerasi limbah padat. Projek daur ulang air ini mestimulasi investasi sektor swasta dalam pembangunan sistem drainase dan fasilitas pembersihan toilet, sehingga juga menciptakan manfaat ekononi. Tabel 5 menunjukkan status daur ulang air di Tokyo tahun 1993, sebagaimana disitir oleh Vigneswaran and Sundaravadivel (2004).

Di Jepang memiliki beberapa contoh penggunaan ulang air limbah di gedung-gedung bertingkat melalui sistem retikulasi ganda. Dengan pemberian insentif ekonomi, gedung-gedung yang telah ada maupun gedung baru dibangun di Jepang didorong untuk memiliki sistem retikulasi ganda. Pada tahun 1990, ada sekitar 844 gedung memiliki sistem daur ulang air ini. Efluen dari instalasi pengoalah air limbah sekunder diolah lebih lanjut dengan sistem pengolahan yang terdiri atas filtrasi pasir, fasilitas pemompaan, reservoir, dan jaringan distribusi. Pusat distribusi air diletakan di basement suatu hotel. Karena kondisi lokasinya yang demikian, kebisingan, bau dan gangguan lainya dikendalikan sangat ketat. Sistem ini mampu memasok air daur ulang ke 19 gedung bertingkat dengan kapasitas maksimun hingga 8.000 m^3/hari sejak tahun 1991. Pemerintah kota metropolitan Tokyo, dalam usuha untuk mempromosikan konservasi air dan pengolahan air limbah, mendorong semua bangunan baru untuk menyediakan sistem retikulasi ganda untuk menggunanakan air daur ulang. Untuk mendorong penggunaan air daur ulang diberikan insentif ekonomi berupa reduksi harga air 20% untuk air daur ulang.

Tabel 5. Daur ulang air di Tokyo tahun 1993

Instalasi pengolahan air	Aplikasi	Kuantitas ($1000\ m^3$/tahun)
Shibaura	Pencucian kereta	111
Sunamachi	Pengendalian debu dengan air	6
Morigasaki	Air untuk instalasi insinerasi sampah	386
Mikawashima	Air industri	8.835
Ochiai	Penbersihan toilet	970
Tamagawa-Joyu	Penambahan pembangkit uap (*steam*)	12.370

Sumber: Maeda, M., K. Nakada, K. Kawamoto, dan M. Ikeda. 1996. Area-wide use of reclaimed water in Tokyo, Japan. Journal of Water Science and Technology, 33 (10-11), 51-57

Australia. Daur ulang air limbah dan air hujan untuk keperluan non-potable diperkiraan memiliki potensi untuk mereduksi kebutuhan air rata-rata 40-50 persen untuk kebutuhan kebayakan kota-kora di Australia. Survei sosial yang dilakukan di Melboune mengindikasikan bahwa masyarakat mendukung usaha daur ulang air limbah kamar mandi dan laundry. Di Australia bagian barat, penggunaan air limbah domestik (*graywater*) merupakan opsi yang diterima untuk ekspanasi pemukiman. Sistem daur ulang air skala komersial telah bangun di Rouse Hili, daerah suburban dekat Sydney, dan New Haven di South Australia. Model daur ulang air di Rouse Hill adalah aplikasi skala besar pertama di Australia dengan sistem sistem retikulasi ganda.

Keputusan untuk memasukan sistem retikulasi ganda saat itu diambial setelah desain intalasi pengolah air limbah (STP/*sewage treatment plant*) selesai dibuat. Untuk mencapai kualitas air hasil olahan yang memenuhi persyaratan pengolahan yang direkomendasikan "panduan daur ulang air untuk keperluan pemukiman dan tempat tinggal" nagara bagian New South Wales (NSW), suatu tahapan proses pengolahan sekunder ditambahkan dalam sisten STP yang telah selesai dibangun tersebut. Tahapan proses yang ditambahkan mencakup koagulasi, flokulasi, klarifikasi/sedimentasi, filtrasi, disinfeksi dan pengendalian pH. Tabel 6 berikut menyajikan ringkasan parameter instalasi Rouse Hill, dibandingkan dengan persyaratan panduan NSW dan tahapan pengolahan California yang diadopsi di Florida, USA (Vigneswaran and Sundaravadivel, 2004).

Dalam sistem tersebut, air daur ulang dipompakan dan ditampung di dalam reservoir yang ditempatkan di keteinggian tertentu, dari sini air didistribusikan secara grafitasi melalui jaringan distribusi sekitar 34 km. Kontinuitas pasokan dalam lini pasokan air *non-potable* dijaga dengan membuatan sambungan yang menghubungkan masing-masing reservoir dengan pasokan air bersih. Reservoir juga dilengkapi dengan fasilitas deklorinasi dengan sodium metabisulfit untuk menjamin residu klorin di tingkat pemakai tidak melebihi batas maksimum yang diijikan 0,5 mg/L.

Fitur penting lain dari sistem retikulasi ganda tersebut adalah: i) air daur ulang didistribusikan melalui pipa non-metalik PVC atau *reinforced plastic*, ii) sambungan-sambungan saluran air daur ulang dibedakan dengan label dan wama permukaan yang berbeda serta dilengkapi dengan papan indikator, iii) Ukuran pipa berbeda untuk air *non-potable* dan air *potable*; lini air daur ulang diberi wama lilac dan beri label "Recycled water - Do not drink", iv) air daur ulang ke rumah-rumah atau bangunan lainnya dihubungan ke toilet, yang memiliki tipe pembesihan ganda dengan air daur ulang atau air potable, dan v) harga air daur ulang ditetapkan 20 cents/m^3 sedangkan harga air potable 65 cents/m^3.

Tabel 6. Kriteria instalasi pengolahan tersier air luntuk tujuan *non-potable* STP Rouse Hill, dibandiingan dengan Panduan NSW, dan Proses California (Florida)

Unit pengolahan	STP Rouse Hill	Panduan NSW	Proses California (Florida)
Koagulasi	Waktu tinggal hidraulik 1 menit	Opsional	Diperlukan jika kekeruhan lebih 5 NTU
Flokulasi	Waktu tinggal 20 menit, 3 tahap	Tidak spesifik	Tidak spesifik
Klarifikasi/sedimentasi	2,4 m/jam, saat peak	Tidak spesifik	Tidak spesifik
Filtrasi	Kedalaman mediun 0,3 m; laju filtrasi 10 *m/jam*	Kedalaman mediun 0,9 m; laju filtrasi 12 *m/jam*	Kedalaman mediun 0,9 m; laju filtrasi 12 *m/jam*
Disinfeksi	Klor bebas 5 mg/L, waktu kontak 1 jam	Klor bebas 5 mg/L, waktu kontak 1 jam	Klor bebas 5 mg/L, waktu kontak 2 jam
Pengendalian pH	6,5 – 8,0	6,5 – 8,0	Tidak spesifik

Sumber: Law, I.B. 1996. Rose Hill-Australia's fist full scale domestic non-potable reuse application. Water Science and Technology, 33(10-11), 71-78

6. KENDALA PEMANFAAT AIR DAUR ULANG

Meskipun telah melalui sejarah panjang di berbagai belahan dunia, pertanyaan tentang keamanan daur ulang air masih menjadi teka-teki, terutama terkait dengan kualitas air daur ulang. Masih terdapat kontroversi diantara peneliti dan pendukung penggunaan air daur ulang, terutama terkait dengan standar kualitas yang harus dipenuhi. Secara umum, resiko kesehatan masyarakat masih menjadi isu utama pemakaian daur ulang air terutama dampak jangka panjang penggunaan air daur ulang. Sampai saat ini masih ada kesulitan untuk menetapkan tingkat risiko kesehatan yang dapat diterima, dan ini masih menjadi masalah yang masih panas diperdebatkan.

Selain kualitas air, isu yang berkebangan mencakup aspek sosio-ekonomi. Pertimbangan sosio-ekonomi mencakup persepsi masyarakat, dan biaya sistem daur ulang air. Secara umum masyarakat tidak menolak terhadap konsep daur ulang air, tetapi hanya sedikit yang bersedia untuk menggunakan air daur ulang, terutama untuk konsumsi atau kontak langsung (*potable water*). Sementara opsi penggunaan air daur ulang untuk maksud non-potable secara teknis dan ekonomis telah banyak diterapkan dan merupakan opsi yang dapat diterima, kekawatiran akan resiko kesehatan masih menjadi kendala di masyakat untuk pemakaian air daur ulang sebagai air potable.

Studi di Kota St. Peterburg, Florida (PBS&J dan McGuire, 2004), dengan bertujuan untuk mengestimasi potensi resiko pada populasi yang terkait penggunaan air duar ulang menyimpulkan bahwa i) tidak ditemukan cukup bukti adanya peningkatan penyekait esterik di daerah urbanisasi yang wilayah perumahanya diirigasi dengan air daur ulang, dan ii) tidak ditemukannya cukup bukti adanya resiko yang signifikan terjangkitnya penyakit akibat virus dan mikroba sebagai akibat dari pemakaian air daur ulang untuk penyiraman tanaman. Akan tetapi, studi tersebut juga merekomendasikan pengolahan air harus selalu mencukupi untuk mengeliminasi atau meminimunkan resiko potensi transmisi / penyebaran penyakit melalui air daur ulang. Dari pertimbangan ekonomi, jika air bersih tersedia cukup dengan harga murah, maka menggunakan air daur ulang menjadi tidak realistis, kecuali ada pertimbangan tertentu misalnya pertimbangan lingkungan.

7. KESIMPULAN DAN REKOMENDASI

Air merupakan kebutuhan utama untuk berbagai aktivitas manusia, termasuk untuk keperluan rumah tangga dan industri. Setelah digunakan, air dibuang sebagai air limbah. Tergantung pada jenis pemakaian air tersebut, air yang telah digunakan terkontaminasi oleh berbagai bahan polutan, seperti karbohidrat, lemak, protein, lignin, sambun, deterjan sitentik, serta berbagai bahan alami dan bahan kimia sintetik. Air limbah domestik juga mengandung berbagai macam bahan anorganik baik berasal dari sumber domestik maupun kegiatan komersial dan proses industri, termasuk sejumlah elemen yang berpotensi toksik seperti arsen, kadmiun, krom, tembaga, air raksa, dan seng. Dalam sudut pandang kesehatan, kontaminan air limbah terpenting adalah mikroorganisme pathogen (mikroorganisme penyebab penyakit).

Dengan teknologi proses pengolahan air yang ada sekarang, hampir semua polutan-polutan dalam air limbah tersebut dapat diendapkan, didegradasi atau disisihkan dari air, hingga tingkat kualitas tertentu dan dapat digunakan lagi untuk berbagai keperluan. Penggunaan air daur ulang semakin menjadi perhatian dengan berbagai alasan, yaitu sumber air semakin terbatas, keinginan untuk meminimumkan biaya infrastruktur, termasuk biaya pengolahan dan biaya pembuangan air limbah, dan keinginan untuk pengelolaan lingkungan dan konservasi sumberdaya air.

Pengalaman pemanfaat air daur ulang telah banyak tersedia dari berbagai negara, yang umumnya dari penggunaan air daur ulang untuk tujuan pengairan, industri dan keperluan domestik *non-potable* (non-konsumsi). Hingga saat ini belum cukup tersedia pengamalan pemanfataan air daur ulang untuk air minum, memasak, mencuci piring, dan untuk konsumsi langsung lainnya. Pertanyaan tentang keamanan air daur ulang masih menjadi teka-teki, terutama terkait dengan kualitasnya. Hingga saat ini masih terdapat kontroversi tentang penggunaan air daur ulang, terutama terkait dengan standar kualitas yang harus dipenuhi. Resiko kesehatan masyarakat menjadi isu utama pemakaian air daur ulang air terutama dampak jangka panjang penggunaan air daur ulang. Ada kesulitan untuk menetapkan tingkat risiko kesehatan yang dapat diterima, dan ini masih menjadi masalah yang masih panas diperdebatkan.

Mengingat pengalaman penggunaan air daur ulang untuk air *portable* baik dari dalam maupun luar negeri yang masih sangat terbatas, ditambah dengan kondisi di Indonesia yang masih menghadapi banyak kendala dalam penjaminan reliabilitas proses produksi air daur ulang, misalnya dalam penyediaan peralatan, pengendalian proses, dan penyediaan personil operatur terampil dan berpangaman, serta ketersediaan sistem jaminan mutu, maka penggunaan air daur ulang perlu kehati-hatian dan dibatasi untuk keperluan *non-potable*. Untuk keperluan minum, memasak, dan mencuci perabot yang kontak dengan bahan makanan, termasuk untuk mandi dan wudhu (bersuci), disarankan untuk menggunakan jenis air lebih terjamin kualitasnya dari sumber air baku yang terlindungi dari pencemaran.

REFERENSI

Alaerts, G. 1987. Metode Penelitian Air. Penerbit Usaha Nasional, Surabaya

Capps, R.W., Montelli, G.N. and Dradford, M.L. 1995. Design concepts for biological treatment. Env. Progress 14, p. 1-8

Cheryan, M. 1986. Ultrafiltration Handbook. Technomic publishing Co., Basel

Corbitt, A. R. 1990. Standard Handbook of Environmental Engineering. McGraw-Hill, Inc. New York

Fane, A. G. dan Radovich, J. M. 1990. Membrane Systems. In Asenj, J. A. (ed.): Separation Process in Biotechnology. Mercel Dekker, Inc., New York

Hammer, M.J. and Hammer, M.J., Jr. 1996. Water and Wastewater Technology, 3rd ed. Prentice Hall, New Jersey

Henry, J.G. and Heinke, G.W. 1996. Environmental Science and Engineering, 2nd ed. Prentice Hall, New Jersey

Kamizoulis, G., A. Bahri, F. Brissaud, and A.N. Angelakis. 2008. Wastewater Recycling and Reuse Practices In Mediterranean Region: Recommended Guidelines

Mongomery, J.M. 1985. Water Treatment Principle and Design. John Wiley & Son, New York.

Nathanson, J. A. 1997. Basic Environmental Technology, 2nd ed. Prentice Hall, New Jersey

PBS&J and McGuire. 2004. City of San Diego Water Reuse Study 2005: Water Reuse Goals, Opportunities & Values. American Assembly Workshop I. October 6-7, 2004. The Water Reuse Study website address is http://www.sandiego.gov/water/ waterreusestudy/index.shtml

Rautenbach, R. 1994. Membranverfahren. Institut fuer Verfahrenstechnik, RWTH Aachen

Schmitz, M. 1999. Wasserpreise in Europ – Fakten, Hintergruende and Konsequenzen. GIT Verlag GmbH, Darmstadt

Scott, K. dan Hughes, R. 1996. Industrial Membrane Separation Technology. Blackie Academic & Professional, London

Vigneswaran, S. and M. Sundaravadivel. 2004. Recycle and Reuse of Domestic Wastewater, in *Wastewater Recycle,Reuse,and Reclamation*, [Ed. Saravanamuthu (Vigi) Vigneswaran], in *Encyclopedia of Life Support Systems (EOLSS),* Developed under the Auspices of the UNESCO, Eolss Publishers, Oxford ,UK, http://www.eolss.net