
KAJIAN KUALITATIF PENGELOLAAN AIR LIMBAH DOMESTIK DI DKI JAKARTA

QUALITATIVE STUDY OF DOMESTIC WASTEWATER MANAGEMENT IN DKI JAKARTA PROVINCE

Sri Mahendra Satria Wirawan

Badan Pengembangan Sumber Daya Manusia Provinsi DKI Jakarta
Jl. Abdul Muis No.66, Jakarta, Telepon 021-38655880,3865581, Fax 021-3865662

e-mail : one_mahendra@yahoo.com

Diterima tanggal: 11 November 2019 ; diterima setelah perbaikan: 20 November 2019 ; Disetujui tanggal: 14 Desember 2019

ABSTRAK

Pencemaran air permukaan dan air tanah yang terjadi di DKI Jakarta menunjukkan kecenderungan yang semakin meningkat. Upaya pengembangan pengolahan air limbah domestik rumah tangga terpusat yang telah dimulai oleh Pemerintah Provinsi DKI Jakarta sejak tahun 1972 berjalan sangat lambat. Telah banyak penelitian yang dilakukan dan dapat dijadikan referensi, namun belum banyak yang membahas keberlanjutan pengelolaan air limbah domestik secara *holistik*. Berdasarkan studi literatur (2012-2018) dan expert judgement yang dilakukan, konsep pembangunan berkelanjutan pada dasarnya adalah bagaimana menempatkan aspek ekologi, ekonomi, sosial, teknologi dan kelembagaan sebagai satu kesatuan yang tidak bisa dipisahkan sehingga dapat memenuhi kebutuhan generasi sekarang tanpa mengurangi kemampuan generasi masa depan untuk memenuhi kebutuhan mereka. Sistem pengelolaan air limbah domestik yang dilakukan oleh Pemerintah Provinsi DKI Jakarta masih bersifat parsial dan tidak holistik. Hasil penelitian menunjukkan bahwa pengelolaan air limbah domestik di DKI Jakarta berada pada status yang kurang berkelanjutan. Untuk itu penetapan strategi prioritas guna mencapai tujuan program pengembangan pengelolaan air limbah domestik serta perumuskan strategi pengembangan pengelolaan air limbah domestik, baik penurunan tingkat pencemaran air, pembiayaan pengembangan, pemilihan teknologi, penanganan masalah sosial, penyediaan lahan, pengembangan kelembagaan serta peningkatan peran serta masyarakat, perlu dilakukan untuk keberlanjutan pengelolaan air limbah domestik di DKI Jakarta.

Kata kunci: Air limbah domestik, DKI Jakarta, pencemaran air, keberlanjutan.

ABSTRACT

Pollution of surface water and groundwater that occurs in DKI Jakarta shows an increasing trend. Efforts to develop centralized domestic wastewater treatment which began in 1972 by DKI Jakarta government were very slow. Many studies have been conducted and can be used as references, but not many of those discussed about the sustainability of holistic domestic wastewater management. Based on the literature study (2012-2018) and expert judgement analysis, the concept of sustainable development is basically on how to place ecological, economic, social, technological and institutional aspects as an inseparable unit, so that it can fit the needs of the present generation without reducing the ability of future generations to meet their needs. The domestic wastewater management system carried out by the DKI Jakarta Provincial Government is still partial and not holistic. The results showed that the management of domestic wastewater in DKI Jakarta was in a less sustainable state. For this reason, determining priority strategies to achieve the objectives of developing domestic wastewater management programs and formulating strategies for developing domestic wastewater management, both reducing the level of water pollution, developing financing, choosing technology, handling social problems, providing land, developing institutions and increasing participation community, it needs to be done for the sustainability of domestic wastewater management in DKI Jakarta.

Keywords: Domestic wastewater, Jakarta province, water pollution, sustainability.

PENDAHULUAN

Tingkat pencemaran air yang terjadi di kota-kota besar di Indonesia khususnya di Jakarta telah menunjukkan kecenderungan yang semakin meningkat, sehingga menyebabkan tingginya tingkat pencemaran air tanah maupun air permukaan. Pencemaran yang terjadi disebabkan oleh kegiatan antropogenik yang menghasilkan limbah cair serta masyarakat yang membuang air limbahnya langsung ke badan air, baik ke waduk, situ, saluran, kali maupun ke laut. Disamping itu, yang tak kalah besar pengaruhnya adalah adanya buangan air limbah domestik yang berasal dari rumah tangga langsung ke kali atau meresapkannya kedalam tanah secara tidak terkendali. Kondisi ini diperparah lagi dengan rendahnya kesadaran masyarakat untuk menjaga lingkungannya (Said, 2008).

Berdasarkan penelitian yang dilakukan oleh Tim *Japan International Cooperation Agency* (JICA, 1991), rata-rata buangan air limbah domestik rumah tangga di Jakarta adalah 118 liter/orang/hari, dan pada tahun 2010 telah mencapai 147 liter/orang/hari. Berdasarkan hal tersebut, maka volume air limbah keseluruhan adalah 1.316.113 m³/hari, yang terdiri dari air limbah domestik 1.038.205 m³/hari, air limbah buangan perkantoran dan daerah komersial 448.933 m³/hari, dan air limbah buangan industri 105.437 m³/hari. Air limbah domestik rumah tangga memberikan kontribusi terbesar pencemaran air yakni 75%, air limbah perkantoran dan daerah komersial 15%, dan air limbah industri 10%. Dilihat dari beban polutan organik, air limbah domestik rumah tangga 70%, air limbah perkantoran 14%, dan air limbah industri memberikan kontribusi 16%. Data tersebut memperlihatkan bahwa air limbah domestik rumah tangga adalah kontributor terbesar terjadinya pencemaran air di wilayah DKI Jakarta. Sementara hasil penelitian yang dilakukan oleh P4L (Pusat Penelitian Pengembangan Perkotaan dan Lingkungan DKI Jakarta) dalam Ladiyance & Yuliana (2014), dikemukakan bahwa 80% sumber pencemaran sungai yang mengalir di Jakarta berasal dari limbah rumah domestik tangga dan 20% yang berasal dari buangan limbah industri.

Pengelolaan air limbah domestik atau sanitasi merupakan kebutuhan dasar manusia yang tujuan utamanya untuk memisahkan kotoran yang dihasilkan oleh kegiatan manusia dari pemukiman guna mencegah timbulnya penyakit (Flores *et al.*, 2008). Upaya pengembangan pengelolaan air limbah domestik terpusat untuk mengatasi pencemaran air di Jakarta telah dimulai sejak 1972, dengan menyusun Rencana

Induk Pengelolaan Air Limbah yang disponsori oleh *United Nations Development Programme* (UNDP) dan *World Health Organisation* (WHO). Namun hingga saat ini perkembangannya masih sangat lambat, sebagaimana studi yang dilakukan antara JICA, Direktorat Jenderal Cipta Karya Kementerian Pekerjaan Umum, Pemerintah Provinsi DKI Jakarta dan PD PAL Jaya, dalam rangka *review* terhadap *Master Plan* Pengelolaan Air Limbah di DKI Jakarta tahun 2012, mengidentifikasi bahwa cakupan pelayanan air limbah domestik di Jakarta baru mencapai 1,26%.

Dalam *review Master Plan* Pengelolaan Air Limbah di DKI Jakarta yang dilakukan oleh JICA tersebut, diidentifikasi bahwa pelayanan *sewerage system* atau pengelolaan air limbah domestik secara terpusat di Jakarta, memperlihatkan cakupan yang masih sangat rendah, jika dibandingkan dengan populasi penduduk Jakarta yang membuang limbah domestiknya ke badan-badan air, baik kali, waduk, situ, laut atau diresapkan ke dalam tanah melalui septictank tanpa pengolahan yang memadai. Hasil *review* menunjukkan bahwa sebanyak 9,27% masyarakat di kawasan kumuh membuang air limbah domestiknya langsung ke sungai, 64,03% meresapkan kedalam tanah dengan menggunakan septic tank konvensional, 25,00% mengolah air limbahnya melalui instalasi pengolahan air limbah (IPAL) individual dan sisanya 1,26% telah menggunakan sistem perpipaan IPAL dengan teknologi yang relatif lebih baik.

Kondisi tersebut sangat jauh tertinggal dibandingkan kota di negara-negara Asia lainnya. Berdasarkan data yang dikeluarkan oleh *Asian Development Bank* atau ADB (2004), beberapa kota besar di Asia, hampir seluruh penduduknya telah dapat dilayani oleh *sewerage system* pengolahan air limbah domestik yang berteknologi modern, seperti Hongkong, Osaka dan Singapura yang telah mencapai 100%, Seoul 98%, Chengdu 85%, Kuala Lumpur 80%, Shanghai 68% serta Delhi yang mencapai 60%.

Sistem pengelolaan air limbah domestik di Jakarta saat ini sangat berdampak pada buruknya kualitas air, baik air permukaan maupun air tanah. Hal ini yang diindikasikan dengan tingginya angka konsentrasi bakteri *Escherichia coli* yang merupakan indikator telah terjadinya pencemaran air oleh limbah domestik, terutama yang berasal dari *feses* atau tinja (BPLHD Provinsi DKI Jakarta, 2016). Indikator biologi ini sebagai parameter biologi yang paling berpengaruh terhadap kualitas air, karena keberadaannya di dalam air mengindikasikan bahwa air tersebut terkontaminasi

oleh *fecal coliform* atau *coli* tinja. Adanya *E-coli* ini merupakan potensi bahwa pada air tersebut juga mengandung mikroorganisme enterik patogen lainnya. Menurut BPLHD Prov. DKI Jakarta (2009), 77% air tanah dan 82% sungai di DKI Jakarta telah terkontaminasi oleh *E-coli*, sehingga tidak layak untuk dikonsumsi sebagai sumber air minum.

Negara-negara berkembang seperti Indonesia sangat membutuhkan akses yang lebih baik terhadap upaya pengelolaan air limbah domestik, sebagaimana penelitian oleh WHO yang menemukan bahwa kondisi pengelolaan air limbah domestik yang buruk menyebabkan 85% sampai 90% penyakit diare yang terjadi di negara-negara berkembang (Prüss-Üstün *et al.*, 2004). Kondisi tersebut setiap tahunnya berkontribusi terhadap kematian 1,6 juta anak di bawah usia lima tahun (WHO, 2006). Dalam Status Lingkungan Hidup Daerah Provinsi Daerah Khusus Ibukota Jakarta Tahun 2015, dilaporkan bahwa hampir semua sampel air yang diambil dari kali seperti Kali Ciliwung, Kali Cipinang, Kali Angke, Kali Mookervart, Kali Grogol, Kali Sunter, Kali Pesangrahan, Kali Grogol, Saluran Tarum Barat, Cengkareng Drain, Kali Baru, Kali Baru Timur, Kali Buaran, Kali Cakung, Cakung Drain, Kali Belencong, Kali Petukangan, Kali Kamal, Kali Cideng, dan Banjir Kanal Timur, maupun situ di lima wilayah kota menunjukkan adanya konsentrasi *E-coli* yang berkali-kali lipat jauh melebihi baku mutu. Pembuangan air limbah domestik yang tidak diolah dan tidak terkendali telah menyebabkan kemerosotan kualitas air yang kuat di sungai-sungai di Jakarta dan di pantai sepanjang tepian teluk Jakarta (Van der Wulp *et al.*, 2016). Demikian pula dengan kualitas air tanah dari sampel air sumur masyarakat di lima wilayah kota, kualitas biologis berdasarkan tingginya konsentrasi *E-coli* yang berada di atas baku mutu menunjukkan bahwa air sumur telah tercemar BPLHD, 2016. Kondisi tersebut di atas tentu saja akan dapat menimbulkan dampak buruk kesehatan bagi masyarakat Jakarta yang masih menggunakan sumber air tanah untuk memenuhi kebutuhan air bersihnya. Sementara itu, cakupan pelayanan air bersih perpipaan yang ada saat ini masih belum optimal, karena dari dua operator air minum di Jakarta, Palija hanya mampu memenuhi sebesar 57,44% dan AETRA sebesar 61,04% dari kebutuhan air penduduk (BRPAMDKI, 2017).

BAHAN DAN METODE

Penelitian ini adalah penelitian kualitatif mengenai pengelolaan air limbah domestik di DKI Jakarta, yang

melingkupi lima wilayah kota administrasi, tetapi tidak termasuk wilayah Kabupaten Administrasi Kepulauan Seribu. Penelitian ini dilaksanakan pada Desember 2017 hingga Februari 2018. Data yang digunakan dalam penelitian ini didapat dari berbagai literatur baik peraturan perundangan, buku maupun hasil penelitian yang terkait dengan pengelolaan air limbah domestik. Di samping itu juga analisis data didasarkan pada *judgement knowledge* dari pakar/narasumber digunakan dalam analisis. Narasumber tersebut berasal dari berbagai *stakeholders* yaitu unsur kementerian/lembaga pemerintah pusat, yaitu Badan Perencanaan Pembangunan Nasional dan Kementerian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat; unsur dinas/badan Pemerintah Provinsi DKI Jakarta yaitu Badan Perencanaan Pembangunan Daerah, Dinas Tata Air dan Dinas Lingkungan Hidup; perguruan tinggi/akademisi; swasta/badan usaha; organisasi profesi, serta masyarakat pemerhati lingkungan.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Air limbah domestik

Air limbah domestik secara umum terdiri dari *black water* dan *grey water*. *Blackwater* terdiri dari campuran tinja, urine, kertas toilet dan air bilasan (Knerr *et al.*, 2011). *Grey water*, adalah limbah non industri yang dihasilkan dari proses domestik seperti mencuci piring, mencuci pakaian dan mandi, dan memiliki komposisi 55%-75% dari air limbah domestik (Shaikh *et al.*, 2015).

Menurut Iskandar (2010), pengelolaan air limbah rumah tangga dibedakan menjadi dua, yaitu air limbah mandi-cuci-kakus (MCK) dan air limbah dapur. Sementara sesuai dengan Peraturan Gubernur Provinsi Daerah Khusus Ibukota Jakarta Nomor 41 Tahun 2016 Tentang Rencana Induk Pengembangan Prasarana dan Sarana Pengelolaan Air Limbah Domestik, yang dimaksud dengan air limbah adalah air yang berasal dari sisa kegiatan proses produksi dan usaha lainnya yang tidak dimanfaatkan kembali. Air limbah domestik adalah air limbah yang berasal dari kegiatan rumah tangga, perumahan, rumah susun, apartemen, perkantoran, rumah sakit, mall, pasar, swalayan, hotel, industri, sekolah baik berupa *grey water* ataupun air limbah toilet *black water*. Dalam peraturan ini, yang dimaksud dengan *grey water* adalah air limbah *non toilet* yang berasal dari dapur, air bekas cuci pakaian dan air mandi, sedangkan yang dimaksud dengan *black water* adalah air limbah toilet yang mengandung kotoran manusia.

Berdasarkan Peraturan Menteri Lingkungan Hidup Republik Indonesia Nomor: P.68/Menlhk/Setjen/Kum.1/8/2016 tentang Baku Mutu Air Limbah, yang dimaksudkan dengan air limbah adalah air sisa dari suatu hasil usaha dan/atau kegiatan, sementara air limbah domestik adalah air limbah yang berasal dari aktivitas hidup sehari-hari manusia yang berhubungan dengan pemakaian air. Dengan kata lain air limbah domestik dapat juga dikatakan sebagai air sisa dari suatu hasil usaha dan/ atau kegiatan yang berasal dari aktivitas hidup sehari-hari manusia yang berhubungan dengan pemakaian air.

Baku air limbah sebagaimana didefinisikan dalam Peraturan Menteri Lingkungan Hidup Republik Indonesia Nomor: P.68/Menlhk/Setjen/Kum.1/ 8/2016 tentang Baku Mutu Air Limbah adalah ukuran batas atau kadar unsur pencemar dan atau jumlah unsur pencemar yang ditenggang keberadaannya dalam air limbah yang akan dibuang atau dilepas ke dalam sumber air dari suatu usaha dan atau kegiatan, sehingga dapat dikatakan bahwa baku mutu air limbah domestik adalah ukuran batas atau kadar unsur pencemar dan atau jumlah unsur pencemar yang ditenggang keberadaannya dalam air limbah yang akan dibuang atau dilepas ke dalam sumber air dari suatu usaha dan atau kegiatan, dimana didalam ketentuan dimaksud, baku mutu air limbah domestik dibagi dalam dua kategori, yakni baku mutu air limbah domestik tersendiri dan baku mutu air limbah domestik terintegrasi.

Didalam Peraturan Menteri Lingkungan Hidup Republik Indonesia Nomor: P.68/Menlhk/Setjen/Kum.1/8/2016 tentang Baku Mutu Air Limbah, yang dimaksudkan dengan baku mutu air limbah domestik tersendiri adalah baku mutu hasil keluaran dari pengolahan air limbah domestik yang dilakukan secara tersendiri tanpa menggabungkan dengan pengolahan air limbah dari kegiatan lainnya.

Adapun penjelasan masing-masing parameter yang perlu diukur terhadap baku mutu air limbah domestik adalah:

1. pH atau derajat keasaman yang digunakan untuk menyatakan tingkat keasaman atau kebasaan yang dimiliki oleh suatu larutan, termasuk air limbah.
2. BOD atau *biological oxygen demand* adalah suatu karakteristik yang menunjukkan jumlah oksigen terlarut yang diperlukan oleh mikroorganisme (biasanya bakteri) untuk mengurai atau mendekomposisi bahan organik dalam kondisi aerobik (Umaly & Cuvin, 1988, Tchobanoglous & Burton, 1991), sebagai analisis

empiris untuk mengukur proses-proses biologis, khususnya aktivitas mikro organisme di dalam air, yang merupakan suatu pendekatan untuk menunjukkan jumlah oksigen yang dibutuhkan oleh mikroorganisme dalam menguraikan zat organik terlarut dan sebagian zat-zat organik yang tersuspensi di dalam air guna mengukur tingkat pencemaran air akibat air buangan.

3. COD atau *chemical oxygen demand* adalah jumlah oksigen yang diperlukan untuk mengurai seluruh bahan organik yang terkandung dalam air (Boyd, 1990). sebagai indikator jumlah oksigen yang dibutuhkan untuk mengoksidasi zat-zat organik yang terdapat dalam air limbah serta merupakan ukuran tingkat pencemaran air oleh zat organik yang secara alamiah dapat dioksidasi melalui proses biologis dan dapat menyebabkan berkurangnya oksigen terlarut dalam air.
4. TSS atau *total suspended solid*, sebagai zat tersuspensi yang biasanya terdiri dari zat organik dan anorganik yang melayang-layang dalam air, dimana secara fisika zat ini sebagai dapat menjadi penyebab kekeruhan pada air, sehingga dapat menyebabkan pendangkalan dan dapat menghalangi masuknya sinar matahari ke dalam air yang dapat mengganggu berlangsungnya proses fotosintesa dari mikroorganisme.
5. Minyak dan lemak sebagai suatu senyawa organik yang bersifat tetap dan sukar diuraikan bakteri serta mempunyai berat jenis lebih kecil dari air sehingga akan membentuk lapisan tipis di permukaan air yang dapat mengurangi konsentrasi oksigen terlarut dalam air dan akan menghalangi penetrasi sinar matahari ke dalam air sehingga mengganggu keseimbangan rantai makanan.
6. Amoniak sebagai senyawa nitrogen yang berasal dari air seni dan tinja, oksidasi zat organik secara mikrobiologis, serta air alam atau buangan industri dan air limbah domestik rumah tangga.
7. *Total coliform* sebagai indikator terjadinya pencemaran air akibat bakteri patogen yang berasal dari tinja.

Secara rinci baku mutu air limbah domestik tersendiri sebagaimana dimaksud dalam Peraturan Menteri Lingkungan Hidup Republik Indonesia Nomor: P.68/Menlhk/ Setjen/Kum.1/8/2016 adalah sebagaimana teruang dalam Tabel 1.

Baku mutu air limbah domestik terintegrasi adalah baku mutu hasil keluaran dari pengolahan air limbah domestik yang dilakukan secara terintegrasi, melalui penggabungan air limbah dari kegiatan lainnya ke

Tabel 1. Baku mutu air limbah domestik tersendiri

Parameter	Satuan	Kadar maksimum*
pH	-	6 – 9
BOD	Mg/L	30
COD	Mg/L	100
TSS	Mg/L	30
Minyak dan Lemak	Mg/L	5
Amoniak	Mg/L	10
Total Coliform	Jumlah/100 mL	3000
Debit	L/Orang/Hari	100

* Rumah susun, penginapan, asrama, pelayanan kesehatan, lembaga pendidikan, perkantoran, perniagaan, pasar, rumah makan, balai pertemuan, arena rekreasi, permukiman, industri, IPAL kawasan, IPAL permukiman, IPAL perkotaan, pelabuhan, bandara, stasiun kereta api, terminal dan lembaga pemasyarakatan.

Sumber: Permen LH RI No: P.68/Menlhk/Setjen/Kum.1/8/2016.

dalam satu sistem pengolahan air limbah.

Penentuan baku mutu air limbah domestik pada instalasi pengolahan air limbah terintegrasi dihitung dengan menggunakan rumusan sebagai berikut:

1. Debit air limbah paling tinggi yang merupakan jumlah debit tertinggi air limbah domestik senyatanya (bila ada) atau berdasarkan prakiraan dari masing-masing kegiatan dan air limbah dari kegiatan lainnya, seperti yang dinyatakan dalam persamaan 1.

$$Q_{max} = \sum_i^n Q_i + \dots + Q_m \dots\dots\dots 1)$$

dimana,

Q_{max} = Debit air limbah paling tinggi, dalam satuan m^3 /waktu

Q_i = Debit air limbah paling tinggi dari kegiatan i dalam satuan m^3 /waktu

Q_m = Debit air limbah paling tinggi Dari kegiatan m, dalam satuan m^3 / waktu

2. Kadar air limbah gabungan paling tinggi yang pada parameter yang sama dapat ditentukan dengan metoda neraca massa dengan perhitungan 2.

$$C_{max} = \sum_i^n \frac{C_i Q_i + C_n Q_n}{Q_i + Q_n} \dots\dots\dots 2)$$

dimana,

C_{max} = Kadar paling tinggi setiap parameter, dalam satuan Mg/L

C_i = Kadar paling tinggi setiap parameter dalam baku mutu air limbah domestik untuk kegiatan i, dalam satuan Mg/L

Q_i = Debit paling tinggi air limbah domestik kegiatan i, dalam satuan m^3 / waktu

C_n = Kadar paling tinggi setiap parameter dalam baku mutu air limbah untuk kegiatan n, dalam satuan Mg/L

Q_n = Debit paling tinggi air limbah kegiatan n, dalam satuan m^3 /waktu

Keberlanjutan pengelolaan air limbah

Djakapermana (2010) mengatakan bahwa prinsip-prinsip keberlanjutan adalah dimensi pembangunan, dimensi keadilan, dan prinsip-prinsip sistem. Dimensi pembangunan meliputi integritas ekologis, pemenuhan kebutuhan melalui efisiensi ekonomi, pengembangan sosial dan budaya manusia, serta keadilan yang mencakup keadilan spasial dan keadilan antar waktu. Sedangkan prinsip-prinsip sistem meliputi keanekaragaman, subsidiaritas, kemitraan dan partisipatif.

Jenssen *et al.* (2007) menyatakan bahwa keberlanjutan harus mencakup aspek ekologi, ekonomi dan sosial serta harus dapat menunjukkan kinerja pada tiga fase yakni:

1. Fase lokal, dimana aspek higienis dan kesehatan menjadi perhatian dalam skala waktu jam atau hari.
2. Fase regional, dimana masalah lingkungan klasik dapat diselesaikan dalam skala waktu bulan atau tahun.
3. Fase global, keberlanjutannya terus dapat berlangsung dalam skala waktu dekade atau abad.

Pemahaman tentang pembangunan berkelanjutan didalam Undang Undang Republik Indonesia Nomor 32 Tahun 2009 tentang Perlindungan dan Pengelolaan Lingkungan Hidup, didefinisikan bahwa pembangunan berkelanjutan adalah upaya sadar dan terencana yang memadukan aspek lingkungan hidup, sosial, dan ekonomi ke dalam strategi pembangunan untuk menjamin keutuhan lingkungan hidup serta keselamatan, kemampuan, kesejahteraan, dan mutu hidup generasi masa kini dan generasi masa depan.

Pemilihan sistem pengolahan air limbah untuk keberlanjutan dilakukan dengan menggunakan berbagai indikator yang terkait dengan aspek lingkungan, ekonomi dan sosial kultural/institusional, sebagaimana yang ungkapkan oleh UNESCO/IHP & GTZ (2006), Bracken *et al.* (2005), Balkema *et al.* (2002), serta Lundin & Morrison (2002).

1. Aspek lingkungan dengan menggunakan indikator penggunaan sumberdaya alam (konstruksi dan operasi/pemeliharaan), air buangan, emisi udara, pelepasan di tanah dan pemulihan sumberdaya.
2. Aspek ekonomi dengan menggunakan indikator biaya investasi, biaya operasional dan pemeliharaan, kemampuan membayar, manfaat finansial dari penggunaan kembali serta potensi pengembangan daerah, bisnis dan peluang pendapatan.
3. Aspek sosial kultural/institusional dengan menggunakan indikator penerimaan masyarakat; adaptasi terhadap perbedaan kelompok umur, jenis kelamin, dan pendapatan; kesesuaian dengan ketentuan; paparan patogen dan risiko infeksi; resiko terpapar B3; manfaat kesehatan melalui peningkatan higienis; dampak kegagalan sistem; kekokohan sistem; pemanfaatan komponen lokal dalam pembangunan, operasional dan pemeliharaan; kemudahan pemantauan terhadap sistem; daya tahan; tingkat kerumitan pembangunan, operasional dan pemeliharaan; serta kesesuaian dengan sistem yang ada.

Setiawati *et al.* (2013) mengatakan bahwa keberlanjutan secara dominan dan signifikan dipengaruhi oleh pemilihan teknologi, ekonomi/keuangan, lingkungan, kelembagaan, dan sosial budaya, sebagai berikut:

1. Pemilihan teknologi, sebagai variabel yang diukur berdasarkan empat indikator, yakni daya tahan sistem, ketersediaan suku cadang, kemudahan operasional, dan kemampuan beradaptasi.
2. Ekonomi/keuangan, sebagai variabel yang diukur berdasarkan tiga indikator, yakni biaya investasi, biaya pemeliharaan dan operasional, serta pembangunan daerah.
3. Lingkungan, sebagai variabel yang diukur berdasarkan tiga indikator, yakni tidak mencemari sumber air, efisiensi bahan baku, dan minimisasi air limbah.
4. Kelembagaan, sebagai variabel yang diukur berdasarkan dua indikator, yakni peraturan dan sanksi untuk air limbah, serta peraturan dan sanksi untuk perlindungan lingkungan hidup.
5. Sosial budaya, sebagai variabel yang diukur berdasarkan empat indikator, yakni kemauan

membayar/*willingness to pay* (WTP) yang berkaitan dengan 1) variabel umur, jenis kelamin, pendapatan, jumlah anggota rumah tangga, pendidikan terakhir, sumber utama air minum, dan status kepemilikan rumah, pengetahuan pencemaran, 2) kapasitas lokal, 3) penerimaan masyarakat, 4) kesesuaian budaya lokal.

Ren & Liang (2017) dalam penelitiannya tentang pengambilan keputusan kelompok multi kriteria berdasarkan pengukuran keberlanjutan proses pengolahan air limbah menyatakan bahwa pengukuran keberlanjutan berdasarkan tiga dimensi ekonomi, lingkungan dan sosial dijabarkan menjadi empat aspek yakni ekonomi, lingkungan, teknologi dan sosial politik, sebagaimana berikut.

1. Ekonomi, dengan kriteria biaya modal serta biaya operasional dan pemeliharaan.
2. Lingkungan, dengan kriteria pengaruh terhadap peningkatan kualitas air dan kebutuhan lahan.
3. Teknologi, dengan kriteria pengoperasian dan kesederhanaan, kesempurnaan serta kehandalan.
4. Sosial politik, dengan kriteria penerimaan masyarakat, dukungan pemerintah dan pekerjaan tambahan.

Rencana Pengembangan

Melalui Masterplan Pengelolaan Air Limbah di DKI Jakarta Tahun 2012, di samping zona nol yang telah terbangun di kawasan Setiabudi, direkomendasikan untuk membangun 14 zona pengembangan pengolahan air limbah domestik di DKI Jakarta lainnya. Rencana pelaksanaannya dibagi dalam rencana:

1. Jangka pendek 2012-2020 untuk membangun dua, zona, yaitu zona 1 di Pejagalan dan zona 6 di IPLT Duri Kosambi.
2. Jangka menengah 2021-2030 untuk membangun empat, yaitu zona 4 ditransfer ke IPAL zona 1, zona 5 di Waduk Sunter, zona 8 di Marunda dan zona 10 di IPLT Pulo Gebang.
3. Jangka panjang 2031-2050 untuk pembangunan delapan zona, yaitu zona 2 di Muara Angke, zona 3 di Taman Hutan Kota Srengseng, zona 7 di Kamal-Pegadungan, zona 9 di Rorotan, zona 11 di Taman Bendi dan Waduk Ulujami, zona 12 di Lahan Ragunan, zona 13 di Waduk Kp Dukuh dan zona 14 di Waduk RW 05 Ceger.

Disamping itu, Pemerintah Provinsi DKI Jakarta juga telah menerbitkan Peraturan Gubernur Provinsi DKI Jakarta Nomor 41 Tahun 2016 tentang Rencana Induk Pengembangan Prasarana dan Sarana Pengelolaan Air Limbah Domestik, sebagai pedoman bagi aparat

pelaksana dalam upaya pengembangan prasarana dan sarana pengelolaan air limbah, dengan tujuan untuk meningkatkan akses fasilitas pengelolaan air limbah domestik yang berkelanjutan di Provinsi DKI Jakarta. Di dalam peraturan tersebut, diatur bahwa pengelolaan air limbah domestik sebagaimana dimaksud dalam Masterplan Pengelolaan Air Limbah di DKI Jakarta Tahun 2012, dibagi atas pengolahan air limbah domestik sistem terpusat dan sistem setempat.

Pengolahan sistem terpusat

Pelaksanaannya dibagi dalam 2 tahap, yakni :

1. Tahap pertama periode tahun 2015 - 2022, meliputi sembilan zona, yaitu zona 1 di sisi barat Waduk Pluit, zona 2 di Muara Angke, zona 3 di Kawasan Hutan Kota Srengseng dan/atau lahan sekitarnya, zona 4 dan zona 10 di Pulo Gebang, zona 5 di Hutan Kota Waduk Sunter Utara, zona 6 di Duri Kosambi, zona 7 di Rencana Lahan Pemakaman Kamal Pegadungan dan zona 8 di Waduk Marunda.
2. Tahap kedua periode 2023–2030 meliputi enam zona, yaitu zona 9 di Situ Rawa Rorotan, zona 11a di Waduk Ulujami, zona 11b di Taman Bendi, zona 12 di Kawasan Kebun Binatang Ragunan, zona 13 di Waduk Kampung Dukuh dan zona 14 di Waduk RW 05 Ceger.

Pengolahan sistem setempat

Pengelolaan air limbah domestik melalui pengolahan sistem setempat dilakukan dengan:

1. Memodifikasi tangki septik konvensional yang dapat mengolah sekaligus *black water* dan *grey water* dengan desain yang memudahkan untuk penyedotan lumpur.
2. Pembangunan IPAL Komunal.
3. Melaksanakan penyedotan lumpur tinja secara berkala di seluruh zona.
4. Mengintegrasikan IPLT Duri Kosambi dan IPLT Pulo Gebang dengan IPAL yang baru dibangun.
5. Mengintegrasikan pengolahan lumpur tinja dari fasilitas setempat dengan IPAL di seluruh zona.

Target rasio pelayanan pengelolaan air limbah domestik melalui pengolahan sistem setempat sampai tahun 2022 adalah sebesar 35%.

Analisis Implementasi

Selama ini implementasi rencana pengembangan sistem pengelolaan air limbah domestik di DKI Jakarta tidak dapat berjalan dengan baik. Tingkat perkembangannya sangat lambat, karena sejak diinisiasi pada tahun 1972 cakupan pelayanan air limbah perpipaan terpusat baru mencapai 1,26% (JICA

2012). Dari 14 zona yang direncanakan sejak tahun 2012 belum ada yang direalisasikan, sehingga persoalan penanganan air limbah domestik di Jakarta masih belum dapat diselesaikan. Hal ini terjadi juga karena pengembangan sistem pengelolaan air limbah domestik yang selama ini dilakukan masih bersifat parsial dan tidak berkelanjutan, yang terlihat dari lambatnya upaya pengembangan infrastruktur yang dilakukan, berdasarkan pada analisis dari beberapa aspek seperti yang diuraikan pada penjelasan berikutnya.

Pada aspek ekologi, sebagian besar masyarakat Jakarta meresapkan air limbah domestiknya ke dalam tanah, atau membuangnya ke badan air. Pemerintah belum dapat menyediakan sarana prasarana pengolahan air limbah terpusat secara memadai, cakupan layanannya sangat kecil dan terbatas, serta lambat perkembangannya. Kondisi ini diperparah dengan permasalahan tingginya biaya yang diperlukan, baik untuk pembangunan maupun pemeliharaan dan operasional instalasi pengolahan air limbah domestik yang digunakan.

Dari aspek ekonomi, biaya pembangunan IPAL yang meliputi biaya konstruksi, biaya operasi dan pemeliharaan, serta biaya pengawasan umumnya adalah jumlah biaya pekerjaan persiapan, pekerjaan tanah, pekerjaan beton, pekerjaan pondasi, dan pekerjaan finishing (Razif *et al.*, 2015). Friedler & Pisanty (2006) menyatakan bahwa biaya operasi IPAL untuk kota bisa mencapai 20-70% biaya pembangunan IPAL. Hingga kini hampir seluruh kota-kota besar di Indonesia belum memiliki sarana Instalasi Pengolahan Air Limbah (IPAL) dalam skala komunal dalam mereduksi setiap polutan-polutan berbahaya yang terakumulasi ke lingkungan. Hal ini diakibatkan tingginya biaya konstruksi dan operasi IPAL (Kurniawan, 2012).

Berdasarkan aspek teknologi, Pemerintah Provinsi DKI Jakarta melalui PD PAL Jaya, sampai saat ini masih menggunakan teknologi pengolahan air limbah domestik sederhana dan hasilnya tidak dapat diandalkan, sehingga pemilihan teknologi menjadi perlu untuk dilakukan sebagai variabel yang diukur berdasarkan empat indikator, yakni daya tahan sistem dan kehandalan (Balkema *et al.*, 2002; Nhapi *et al.*, 2004; Flores *et al.*, 2008; Paramita, 2009), ketersediaan suku cadang (Gaulke *et al.*, 2009; Masduqi, 2010), serta kemudahan operasional (Masoud *et al.*, 2009; Werner, 2009; Masduqi, 2010). Lingkungan sebagai penerima air limbah domestik sebagai suatu variabel dapat diukur berdasarkan tiga indikator, yakni tidak mencemari sumber daya air (Balkema *et al.*, 2002;

Bradley *et al.*, 2002; Ajayi & Ogunbayo, 2012), minimisasi air limbah (Pushpangadan & Murugan, 2008) dan mencegah pencemaran air baku (Mukherjee & van Wijk, 2003; De Carvalho *et al.*, 2008, Flores *et al.*, 2008; Werner, 2009).

Pada aspek sosial dapat dirasakan bahwa upaya pengembangan sarana pengolahan air limbah domestik selalu terkendala pada penyediaan lahan sebagai prasarana pembangunan IPAL dan sistem perpipaannya, baik permasalahan keterbatasan lahan maupun tingginya harga jual tanah yang diminta oleh masyarakat, sehingga pemerintah memanfaatkan waduk sebagai sarana pengendali banjir dan drainase sekaligus juga dimanfaatkan sebagai IPAL, sehingga hasilnya tidak optimal.

Rendahnya partisipasi masyarakat terjadi karena selama ini belum pernah diberikan edukasi lingkungan yang terpadu tentang lingkungan hidup, di antaranya bahwa ketika mereka membuang air limbah domestik baik *black water* maupun *grey water* secara tidak terkendali, di samping membutuhkan biaya yang besar untuk mengolahnya, juga akan menimbulkan dampak pencemaran lingkungan yang pada gilirannya akan menyebabkan kerusakan lingkungan yang membahayakan kehidupannya, sehingga perlu diterapkan konsep polluter pays principle bagi setiap orang yang melakukan pencemaran dan merusak lingkungan untuk bertanggung jawab dalam menanggulangi pencemaran dan kerusakan lingkungan yang dilakukannya. Penegakan hukum dan penerapan peraturan yang ketat mengenai pengelolaan air limbah termasuk semua pembuangan limbah lainnya, termasuk di kawasan pesisir sangat diperlukan dan harus diberlakukan (Kathijotes, 2010).

Terhadap aspek ekonomi dapat diamati bahwa pengembangan sarana pengolahan air limbah domestik mengalami kendala baik terkait dengan sumber maupun skema pembiayaan yang terkait dengan biaya investasi dan biaya pemeliharaan dan operasional (Balkema *et al.*, 2002; Mukherjee & Van Wijk, 2003; De Carvalho *et al.*, 2008; Flores *et al.*, 2008; Muga & Mihelcic, 2008; Paramita, 2009; Werner, 2009), karena keterbatasan anggaran pemerintah.

Dalam membangun kesiapan masyarakat agar dapat menerima konsep pengolahan air limbah domestik yang dalam operasionalnya harus mengeluarkan biaya untuk sambungan instalasi dan membayar pelayanan pengolahan air limbah domestik, terkait dengan WTP, permasalahan yang dihadapi adalah bahwa selama

ini biaya tersebut tidak pernah dikeluarkan oleh masyarakat khususnya golongan menengah ke bawah yang mendominasi struktur penduduk, yang selama ini membuang air limbah domestiknya langsung ke badan air tanpa pengolahan yang memadai, atau meresapkannya langsung ke dalam tanah. WTP diperlukan dalam upaya penetapan struktur tarif yang akan dikenakan baik bagi pelanggan industri maupun masyarakat sesuai dengan zona pemukiman maupun tingkat penghasilannya.

Penelitian dalam rangka mengevaluasi keberlanjutan pengelolaan air limbah domestik di DKI Jakarta yang dilakukan oleh Wirawan *et al.* (2018) memperlihatkan bahwa baik secara multidimensi maupun parsial terhadap aspek ekologi, aspek ekonomi, aspek sosial, aspek teknologi dan aspek kelembagaan, keberlanjutan pengelolaan air limbah domestik di DKI Jakarta seluruhnya berada pada status kurang berkelanjutan, dengan atribut dominan yang berpengaruh:

1. Aspek sosial; resistensi masyarakat, penggabungan pelayanan air limbah dengan air bersih, tingkat kesulitan pengadaan lahan, kualitas pendidikan bagi masyarakat ketersediaan lahan pemerintah, serta peran serta masyarakat.
2. Aspek ekonomi; kemampuan masyarakat membayar, tarif rumah tangga untuk pengolahan air limbah, pemanfaatan lumpur/biogas, pengalokasian APBN, pengalokasian APBD, serta dampak ekonomi akibat pencemaran air.
3. Aspek kelembagaan; peran pemerintah daerah, peran pemerintah pusat, dan penegakkan hukum.
4. Aspek ekologi; pemanfaatan air sumur untuk minum/masak, pemanfaatan air sumur untuk mandi/cuci, tingkat bau air saluran, dan tingkat kekeruhan air saluran, serta pemanfaatan air sungair untuk minum/masak.
5. Aspek teknologi: konsumsi energy OP *septic tank*, tingkat kesulitan OP *septic tank*, tingkat kesulitan OP IPAL, konsumsi energy OP IPAL, serta kemampuan beradaptasi *septic tank*.

KESIMPULAN DAN SARAN

Kesimpulan

Pengelolaan air limbah domestik merupakan hal penting yang perlu dikembangkan dalam rangka menekan angka pencemaran air, baik air permukaan maupun air tanah di DKI Jakarta. Implementasi rencana pengembangan sistem pengelolaan air limbah domestik di DKI Jakarta berjalan lambat sehingga persoalan penanganan pencemaran air di Jakarta belum optimal. Hal ini terjadi karena pengembangan sistem

pengelolaan air limbah domestik yang dilakukan oleh pemerintah Provinsi DKI Jakarta masih bersifat parsial dan tidak holistik. Hasil penelitian menunjukkan bahwa pengelolaan air limbah domestik di DKI Jakarta baik secara multidimensi maupun parsial terhadap aspek ekologi, aspek ekonomi, aspek sosial, aspek teknologi dan aspek kelembagaan, berada pada status kurang berkelanjutan berdasarkan data 2012-2018.

Saran

Dalam rangka pengembangan pengelolaan air limbah domestik yang berkelanjutan disarankan agar Pemerintah Provinsi DKI Jakarta memperkuat komitmen dan konsistensi implementasi program dan anggaran untuk pembangunan infrastruktur pengolahan air limbah domestik secara terpadu dengan mempertimbangkan aspek ekologi, ekonomi, sosial, teknologi dan kelembagaan melalui penganggaran baik yang bersumber dari APBN dan APBD, serta skema pembiayaan lain, seperti pinjaman luar negeri, obligasi daerah, hibah, kerjasama pembangunan dengan badan usaha ataupun tanggung jawab sosial dari korporasi.

DAFTAR PUSTAKA

- [ADB] Asian Development Bank. (2004). Water in Asian Cities. Filipina: Utilities' performance and Civil Society Views.
- Ajayi, T.O., & Ogunbayo, A.O. (2012). Achieving environmental sustainability in wastewater treatment by phytoremediation with water hyacinth (*Eichhornia crassipes*). *Journal of Sustainable Development*, 5(7): 80-90. <https://doi.org/10.5539/jsd.v5n7p80>.
- Balkema, A., Preisig, H.A., Otterpohl, R., & Lambert, F.J.D. (2002). Indicators for the sustainability assessment of wastewater treatment sistem. *Urban Water*. 4: 153-161. [https://doi.org/10.1016/S1462-0758\(02\)00014-6](https://doi.org/10.1016/S1462-0758(02)00014-6).
- [BPLHD] Badan Pengelola Lingkungan Hidup Daerah Provinsi DKI Jakarta. (2009). Status Lingkungan Hidup Daerah Provinsi DKI Jakarta 2008. Pemerintah Provinsi DKI Jakarta.
- [BPLHD] Badan Pengelola Lingkungan Hidup Daerah Provinsi DKI Jakarta. (2016). Status Lingkungan Hidup Daerah Provinsi DKI Jakarta 2015. Pemerintah Provinsi DKI Jakarta.
- Bracken, P., Kvarnström, E., Ysunza, A., Kärrman, E., Finsson, A., & Saywell, D. (2005). Making sustainable choices-the development and use of sustainability oriented criteria in sanitary decision making. Di dalam: [CSIR] Council for Scientific and Industrial Research, editor. Proceedings of the Third International Conference on Ecological Sanitation; 2005 May 23-27; Durban, South Africa. Pretoria.
- Bradley, B.R., Daiger, G.T., Rubin, R., & Tchobanoglous, G. (2002). Evaluation of onsite wastewater treatment technologies using sustainable development criteria. *Clean Technologies and Environmental Policy*. 4:87-99. <https://doi.org/10.1007/s10098-001-0130-y>.
- [BRPAMDKI] Badan Regulator Pelayanan Air Minum DKI Jakarta. (2017). Kinerja kuartal I/2017: Target penurunan NRW masih senjang 2 digit. Jakarta. www.brpamdki.org/peformance-2017/detail/199/ [akses 17 Agustus 2019]
- Boyd, C.E. (1990). *Water Quality In Ponds For Aquaculture*. Auburn University, Alabama.
- De Carvalho, S.C.P., Carden, K.J., & Armitage, N.P. (2008). *Application of a sustainability index for integrated urban water management in southern africa cities: case study comparison Maputo and Hermanus*. Di dalam: Water Institute Of Sourthern Africa (WISA) Biennial Conference; 2008 May 18-22; Sun City, South Africa.
- Djakapermana, R.D. (2010). *Pengembangan Wilayah: Melalui Pendekatan Kesisteman*. Bogor: IPB Press.
- Flores, A., Buckley, C., & Fenner, R. (2008). *Selecting Wastewater Sistem for Sustainability In Developing Countries*. Di dalam: 11th International Conference on Urban Drainage. 2008 August, 31 - September, 5; Edinburgh, Scotland, United Kingdom.
- Friedler, E., & Pisanty, E. (2006). Effect of design flow and treatment level on construction and operation costs of municipal wastewater treatment plants and their implications on policy making. *Water Research*. 40:3751-3758. <https://doi.org/10.1016/j.watres.2006.08.015>.

- Gaulke, L.S., Weiyang, X., Scanlon, A., Henk, A., & Hinckley, T. (2009). Evaluation criteria for implementation of a sustainable sanitation and wastewater treatment sistem at Jiuzhaigou national park, Sichuan Province, China. *Environmental Management*. 45: 93-104. <https://doi.org/10.1007/s00267-009-9398-1>.
- Iskandar, R. (2010). *Prilaku rumah tangga dalam pengelolaan limbah domestik - kasus desa-desa wilayah Jakarta, Depok dan Bogor sepanjang sungai Ciliwung* [disertasi]. Bogor: Institut Pertanian Bogor.
- Jenssen, P.D., Vrale, L., & Lindholm, O. (2007). Sustainable wastewater treatment. Di dalam: Seng L, editor. *Proceeding International Conference on Natural Resources and Environmental Management and Environmetal Safety and Health*; 2007 November 27-29; Kuching, Malaysia. Kuching.
- [JICA] Japan International Cooperation Agency. (1991). The Study on Urban Drainage and Wastewater Disposal Project in the City of Jakarta. Laporan Teknis. JICA, Kementerian Pekerjaan Umum & Pemerintah Provinsi DKI Jakarta.
- [JICA] Japan International Cooperation Agency. (2012). Master Plan Pengelolaan Air Limbah di DKI Jakarta. Laporan Teknis. JICA, Kementerian Pekerjaan Umum & Pemerintah Provinsi DKI Jakarta.
- Kathijotes N. (2010). Wastewater management in developing counties: Nutrient input control in coastal cities. *Procedia - Social and Behavioral Sciences*. 42: 259 - 263. <https://doi.org/10.1016/j.sbspro.2012.04.189>.
- [KLHK] Kementerian Lingkungan Hidup & Kehutanan Republik Indonesia. (2016). Peraturan Menteri Lingkungan Hidup dan Kehutanan Republik Indonesia. Nomor:P.68/Menlhk/Setjen/Kum.1/8/2016 tentang Baku Mutu Air Limbah. Jakarta: Biro Hukum.
- Knerr, H., Rechenburg, A., Kistemann, T., & Schmitt, T.G. (2011). Performance of a MBR for the treatment of blackwater. *Wat Scien and Tech*. 63(6):1248-1254.
- Kurniawan, A. (2012). *Konsep desain instalasi pengolahan air limbah skala komunal dalam rangka purifikasi kualitas air sungai di Jakarta*. Di dalam: Annual Engineering Seminar Februari 16, 2012, Jogyakarta, Indonesia.
- Ladiyance, S., & Yuliana, L. (2014). Variabel-variabel yang memengaruhi kesediaan membayar (willingness to pay) masyarakat Bidaracina Jatinegara Jakarta Timur. *Jurnal Ilmiah Widya*. 2: 41-47. <https://e-journal.Jurwidyakop3.com/index.php/jurnal-ilmiah/article/view/173>.
- Lundin. M., & Morrison, G.M. (2002). A life cycle assessment based procedure for development of environmental sustainability indicators for urban water sistems. *Urban Water*. 4:145-152. [https://doi.org/10.1016/S1462-0758\(02\)00015-8](https://doi.org/10.1016/S1462-0758(02)00015-8).
- Masduqi, A. (2010). *Keberlanjutan sistem penyediaan air bersih perpipaan di pedesaan* [disertasi]. Institut Teknologi Surabaya.
- Masoud, M.A., Tarhini, A., & Nasr, J.A. (2009). Decentralized approaches to wastewater treatment and management: applicability in developing countries. *Journal of Environmental Management*. 90: 652-659. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2008.07.001>.
- Tchobanoglous, G., & Burton, F.L. (1991). *Wastewater engineering: treatment disposal reuse*. USA: McGraw-Hill.Inc
- Muga, H.E., & Mihelcic, J.R. (2008). Sustainability of wastewater treatment technologies. *Journal of Environmental Management*. 88:437-447. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2007.03.008>.
- Mukherjee, N., & Van Wijk, C. (2003). *Sustainability Planning And Monitoring In Community Water Supply And Sanitation: A Guide on The Methodology for Participatory Assessment (MPA) for Community-Driven Development Programs*. Washington DC: The World Bank Water and Sanitaton Program. <http://www.wsp.org/pdfs/mpa%202030.pdf>
- Nhapi, I., Gijzen, J., & Huub. (2004). A three step strategic approach to sustainable wastewater management, *Water SA*. 31(1): 133-140. <https://doi.org/10.4314/wsa.v31i1.5130>.

- Paramita, N. (2009). *Pemilihan Pengolahan Sanitasi Setempat Berkelanjutan Berbasis Masyarakat Melalui Program PNPM Mandiri (studi kasus: Kelurahan Sadang Serang Bandung* [tesis]. Institut Teknologi Bandung.
- Pemerintah Republik Indonesia. (2009). Undang Undang Republik Indonesia Nomor 32 Tahun 2009 tentang Perlindungan dan Pengelolaan Lingkungan Hidup. Jakarta.
- Pemerintah Provinsi DKI Jakarta. (2016). Peraturan Gubernur Provinsi DKI Jakarta Nomor 41 Tahun 2016 tentang Rencana Induk Pengembangan Prasarana Dan Sarana Pengelolaan Air Limbah Domestik. Jakarta.
- Prüss-Üstün, A., Kay, D., Fewtrell, L., & Bartram, J. (2004). *Unsafe water, sanitation and hygiene*. di dalam: Ezzati M, Lopez AD, Rodgers A, Murray CJL eds. *Comparative Quantification of Health Risks*. World Health Organization, Geneva.
- Pushpangadan, K., & Murugan, G. (2008). *On the measurement of sustainability of rural water supply in India: supervaluationist - degree theory approach*. Di dalam: School of Sosial Sciences, University of Manchester, editor. *Development Economics Seminar* Februari 12, 2008. Manchester, United Kingdom.
- Razif, M., Soemarno, Yanuwadi, B., Rachmansyah, A., & Belgiawan, P.F. (2015). Implementation of regression linear method to predict WWTP cost for EIA: case study of ten malls in Surabaya City. *Procedia Environmental Sciences*. 28:158-165. <https://doi.org/10.1016/j.proenv.2015.07.022>.
- Ren, J., & Liang, H. (2017). Multi-criteria group decision-making based sustainability measurement of wastewater treatment processes. *Environmental Impact Assessment Riview*. 65: 91-99. <https://doi.org/10.1016/j.eiar.2017.04.008>.
- Said, N.I. (2008). *Pengolahan ir limbah domestic di DKI Jakarta "Tinjauan Permasalahan, Strategi dan Teknologi Pengolahan"*. BPPT, Jakarta.
- Setiawati, E., Notodarmojo, S., Soewondo, P., Effendi, A.J., & Otoka, B.W. (2013). Infrastructure development strategy for sustainable wastewater sistem by using SEM method (case study Setiabudi and Tebet districts, South Jakarta), *Procedia Environmental Sciences*. 17:685-692. <https://doi.org/10.1016/j.proenv.2013.02.085>.
- Shaikh, Sameer, S.K., & Younus, S.K. (2015). Grey water reuse: a sustainable solution of water crisis in Pusad City in Maharashtra, India, *International Journal on Recent and Innovation Trends in Computing and Communication*. 3(2): 167-170. <http://www.ijritcc.org/download/1427442112.pdf>
- Umayal, R.C., & Cuvin, M.L.A. (1988). *Limnology: Laboratory and field guide, Physico-chemical factors, Biological factors*. Metro Manila: National Book Store, Inc. Publishers.
- United Nations Educational Scientific and Cultural Organization, International Hydrological Programme. (2006). *Technical Document in Hydrology: Practices And Experiences Of Water And Wastewater Technology*. Laporan Nomor 79. UNESCO/IHP, Paris.
- [UNESCO/HP & GTZ] United Nations Educational, Scientific, and Cultural Organization, International Hydrological Programme; Deutsche Gesellschaft fur Technische Zusammenarbeit GmbH. (2006). *Capacity Building for Ecological Sanitation: Concepts for Ecologically Sustainable Sanitation in Formal and Continuing Education*. UNESCO/IHP and GTZ, Paris.
- Van der Wulp, S.A., Dsikowitzky, L., Hesse, K.J., & Schwarzbauer, J. (2016). Master Plan Jakarta, Indonesia: The Giant Seawall and the need for structural treatment of municipal waste water. *Marine Pollution Bulletin*, 110(2): 686-693. <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2016.05.048>
- Werner, M. (2009). *Water and wastewater systems sustainability in remote Australia*. [thesis]. *Master of Engineering School of Civil, Mining and Environmental Engineering-Faculty of Engineering*, University of Wollongong.
- Wirawan, S.M.S., Maarif, M.S., Riani, E., & Anwar, S. (2018). An evaluation of the sustainability of domestik wastewater management in DKI Jakarta, Indonesia. *Advances in Environmental Sciences-Bioflux*. 10(3): 147-159. <http://www>

aes.bioflux.com.ro/docs/2018.147-159.pdf

[WHO] World Health Organization. (2006). Preventing Disease Through Healthy Environment: Towards An Estimate of The Environmental Burden of Disease. Switzerland, Swiss.