



## KAJIAN KINERJA BAK *SETTLER*, *ANAEROBIC BAFFLED REACTOR* (ABR), DAN *ANAEROBIC FILTER* (AF) PADA TIGA TIPE IPAL DI SEMARANG

Anis Ulfa Widya Astika<sup>\*)</sup>, Sudarno<sup>\*\*)</sup>, Badrus Zaman<sup>\*\*)</sup>

Departemen Teknik Lingkungan Fakultas Teknik Universitas Diponegoro  
Jl. Prof. H. Sudarto, SH Tembalang, Semarang, Indonesia 50275  
email: [anis.ulfawa@gmail.com](mailto:anis.ulfawa@gmail.com)

### Abstrak

Kota Semarang, sejak tahun 2005, telah membangun fasilitas pelayanan sistem air limbah (SPAL) komunal di beberapa kawasan permukiman, di antaranya yaitu di Kecamatan Semarang Utara dan Kecamatan Banyumanik. Fasilitas-fasilitas yang telah terbangun perlu mendapatkan pengelolaan yang baik dalam hal operasional maupun pemeliharannya sehingga kinerjanya optimal dalam mengolah limbah domestik masyarakat. Kendala dari sanitasi berbasis masyarakat yaitu kegiatan monitoring dan pemeliharaan sarana dan prasarana sanitasi. Ketika dilakukan kegiatan monitoring biasanya dilakukan di inlet dan outlet IPAL saja. Dalam penelitian, penulis akan melakukan pengambilan sampel air limbah pada bak Settler, Anaerobic Baffle Reactor (ABR), dan Anaerobic Filter (AF) di enam IPAL, dengan tiga tipe IPAL berbeda yaitu MCK Plus (Gurame -Dadapsari), Sewerage (Banyumanik A - Banyumanik B), Kombinasi (Pedalangan -Banyumanik C) dengan memperhatikan Hydraulic Retention Time (HRT) bak pengolahan kemudian diukur untuk dianalisis kinerja unit pengolahan dikaitkan dengan aspek teknis dan aspek pengelolaan. Jenis penelitian yaitu penelitian deskriptif. Hasil penelitian didapat bahwa pada keenam IPAL, terkait aspek teknis dan aspek operasional dan pemeliharaan, IPAL Banyumanik C memperoleh skor tertinggi yaitu dengan 40 poin, MCK Dadapsari 34 poin, IPAL Banyumanik A 32 poin, IPAL Banyumanik B 29 poin, IPAL Pedalangan 23 poin dan terakhir adalah MCK Gurame 13 poin.

**Kata Kunci:** IPAL Komunal, HRT, Settler, Anaerobic Baffled Reactor, Anaerobic Filter

### Abstract

**[Performance Assessment in Settlers, Anaerobic Baffled Reactor (ABR), and Filter Anaerobic (AF) on Three Types of WWTP in Semarang].** Semarang city, since 2005, has built a care facility wastewater system (SPAL) communal in some residential areas, among which in the District of Semarang Utara and District Banyumanik. The facilities that have been built have to get good management in terms of operational and maintenance so that performance is optimal in treating domestic waste society. Constraints of community-based sanitation namely monitoring and maintenance of sanitation facilities and infrastructure. When carried out monitoring activities typically carried out in the inlet and outlet WWTP only. In the study, the author will take samples of waste water in the tub, Settler, Anaerobic Baffle Reactor (ABR), and Anaerobic Filter (AF) in six WWTP, with three different types of WWTP namely MCK Plus (Gurame -Dadapsari), Sewerage (Banyumanik A - Banyumanik B), combination (Pedalangan -Banyumanik C) with respect Hydraulic Retention Time (HRT) the treatment facility is then measured to analyze the performance of the processing unit associated with the technical aspects and management aspects. This type of research is a descriptive study. The result is that on the sixth WWTP, related to technical aspects and operational aspects and maintenance, WWTP Banyumanik C obtained the highest score is 40 points, MCK Dadapsari 34 points, WWTP Banyumanik A 32 points, WWTP Banyumanik B 29 points, WWTP Pedalangan 23 points and The latter is MCK Gurame 13 points.

**Keywords:** Communal WWTP, HRT, Settler, Anaerobic Baffled Reactor, Anaerobic Filter

## PENDAHULUAN

### Latar Belakang

Dalam kurun waktu 30 tahun, 1961-1990, jumlah penduduk Indonesia meledak 2 kali lipat, semula 97.1 juta jiwa menjadi 179.4 juta jiwa (Sensus Penduduk Antar Sensus (SUPAS), 1995). Pada tahun 2012, tercatat jumlah penduduk Indonesia sebanyak 243.3 juta jiwa, menduduki peringkat ke-4 negara yang penduduknya terbanyak di dunia dan ke-3 di Asia. Fakta ini menunjukkan bahwa jumlah penduduk Indonesia terus meningkat setiap tahunnya. Peningkatan jumlah manusia beriringan dengan aktivitas manusia yang semakin kompleks, tidak hanya meningkatkan kebutuhan manusia dalam memenuhi kehidupannya saja tetapi juga meningkatkan buangan yang dihasilkannya. Faktanya, setiap manusia pasti menghasilkan buangan, baik itu berupa buangan cair, padat maupun gas. Buangan cair umumnya berupa air limbah atau air bekas penggunaan dari aktivitas sehari-hari seperti mandi, cuci, kakus, ataupun aktivitas lain yang biasa disebut juga sebagai air limbah domestik. Air limbah domestik apabila tidak diolah dengan baik dapat mengakibatkan pencemaran lingkungan yang akan mempengaruhi kualitas lingkungan dan kesehatan masyarakat. Berdasarkan tingkat kepadatan dan laju pertumbuhan penduduk di Indonesia, limbah domestik dapat menjadi ancaman yang cukup serius terhadap pencemaran lingkungan perairan bila tidak segera diuraikan (Supradata, 2005). Hal ini dikarenakan sekitar 60 – 80% dari air bersih yang digunakan untuk melakukan kegiatan akan dibuang kembali ke alam sebagai air terkontaminasi. Komposisi air limbah tersebut (Sugiharto, 1987) pada umumnya terdiri atas air (99,9%) dan sisanya berupa bahan padat sebanyak 0,1%.

Dalam rangka menurunkan potensi pencemaran akibat limbah domestik yang dihasilkan masyarakat, pemerintah turut melakukan upaya pengelolaan air limbah baik yang bersifat on site (setempat) ataupun off

site (terpusat). Sistem pengolahan air limbah yang ada di Kota Semarang hampir sepenuhnya menerapkan sistem on site yang mana pada tiap rumah memiliki sarana pengolahan sendiri dalam bentuk septic tank. Kota Semarang, melalui koordinasi dari Satker Pengembangan Penyehatan Lingkungan Pemukiman (PPLP) Jawa Tengah sejak tahun 2005, telah membangun fasilitas pelayanan sistem air limbah (SPAL) komunal di beberapa kawasan permukiman, salah satu di antaranya yaitu di Kecamatan Semarang Utara (Satker PPLP Jawa Tengah, 2010). Selain Kecamatan Semarang Utara, Dalam Dokumen Rencana Pembangunan (DRP) Program Sanitasi Perkotaan Berbasis Masyarakat Tahun 2013, Kecamatan Banyumanik termasuk ke dalam daerah yang mendapat dukungan pemerintah terkait pelaksanaan program sanitasi. Di wilayah-wilayah tersebut, pemerintah Kota Semarang membangun fasilitas-fasilitas pengelolaan sanitasi air limbah domestik dalam rangka peningkatan kualitas lingkungan dan juga kesehatan di wilayah setempat, yaitu MCK plus di daerah Semarang Utara, IPAL Shallow Sewerage dan Kombinasi MCK plus Sewerage di wilayah Banyumanik. Fasilitas-fasilitas yang telah terbangun tersebut perlu mendapatkan pengelolaan yang baik dalam hal operasional maupun pemeliharannya sehingga kinerjanya dapat optimal mengolah limbah domestik masyarakat. Namun dalam prakteknya, masyarakat hanya menggunakan fasilitas sanitasi dan jarang melakukan pemeriksaan (monitoring). Program monitoring IPAL tersebut penting dilakukan dengan tujuan mengetahui kinerja IPAL dalam mengelola limbah domestik, apakah efisiensinya tetap atau bahkan menurun.

Terkait efisiensi IPAL, didapatkan dengan cara mengukur kualitas air limbah dalam IPAL dalam kurun waktu tertentu/secara berkala ( $\pm$  6 bulan sekali). Efisiensi IPAL tergolong fluktuatif terhadap debit air limbah yang masuk, kualitas air limbah dan pemeliharaan dari IPAL itu sendiri. Dalam Hastuti E dkk (2014), faktor-faktor yang mempengaruhi kinerja pengolahan air limbah untuk

menghasilkan sistem pengolahan air limbah yang stabil dan konsisten diantaranya adalah, karakteristik influen air limbah, konsumsi pemakaian air, kapasitas pengolahan, bahan dan konstruksi serta pengelolaan. Dan dalam penelitian ini, penulis akan melakukan pengambilan sampel air limbah pada bak Settler, bak Anaerobic Baffled Reactor (ABR), dan bak Anaerobic Filter (AF) di enam IPAL, dengan tiga tipe IPAL berbeda yaitu MCK Plus (Gurame-Dadapsari), Sewerage (Banyumanik A-Banyumanik B), Kombinasi (Pedalangan-Banyumanik C) dan kemudian diukur untuk selanjutnya dapat dianalisis kinerja unit pengolahan yang paling efektif dilihat dari efisiensi penyisihan parameter air limbah TSS, COD dan nutrient (ammonium, nitrit) pada tiga tipe IPAL yang berbeda (MCK, Sewerage, dan Kombinasi) serta kaitannya dengan faktor-faktor lainnya (karakteristik influen, kapasitas pengolahan, konstruksi, serta pengelolaan).

### **Tujuan Penelitian**

Tujuan penelitian ini adalah sebagai berikut:

- 1) Mengetahui karakteristik unit pengolahan Settler, Anaerobic Baffled Reactor (ABR), dan Anaerobic Filter (AF) pada tiga tipe IPAL di Semarang.
- 2) Menganalisis kinerja bak Settler, Anaerobic Baffled Reactor (ABR), dan Anaerobic Filter (AF) dilihat dari aspek teknis dan aspek operasional pemeliharaan.

### **METODOLOGI PENELITIAN**

#### **Waktu dan Tempat Penelitian**

Waktu : Mei – Oktober 2016

Tempat : 6 lokasi instalasi pengolahan air limbah domestik di 2 wilayah yaitu di daerah Banyumanik (Sewerage IPAL

Banyumanik A-IPAL Banyumanik B) dan Kombinasi IPAL Banyumanik C - Pedalangan) dan Semarang Utara (MCK Plus Dadapsari dan Gurame).

#### **Teknik Pengambilan Sampel**

Metode pengambilan berdasarkan SNI 6989.59:2008 tentang air dan air limbah bagian 59 ; metoda pengambilan contoh air air limbah dengan dilakukan modifikasi karena situasi dan kondisi. Modifikasinya yaitu dengan mengambil sampel inlet dan outlet masing-masing bak pengolahan (*settler, Anaerobic Baffled Reactor, Anaerobic Filter*). Selain itu, pengambilan sampel dilakukan dengan memperhatikan HRT ketiga bak pengolahan.

#### **Teknik Pengolahan dan Analisis Data**

Data yang diperoleh dari hasil survey, wawancara, sampling, dan data sekunder selanjutnya dianalisis secara deskriptif dan analitik. Hasil analisis sampling air buangan pada IPAL dari laboratorium selanjutnya di hubungkan dengan jumlah pengguna IPAL, sistem Pengolahan IPAL, operasional dan pemeliharaan IPAL serta kondisi eksisting IPAL kemudian dianalisis dengan menggunakan Microsoft Office Word dan Microsoft Office Excel sehingga diperoleh bentuk data berupa tabel dan gambar grafik.

### **HASIL DAN PEMBAHASAN**

#### **4.1 Kondisi Eksisting Instalasi Pengolahan Air Limbah Domestik**

Keenam IPAL secara umum memiliki desain teknologi pengolahan yang sebagian besar mengacu pada sistem semi DEWATS yaitu terdiri atas Settler (sebagai primary treatment), Anaerobic Baffled Reactor (ABR), dan Anaerobic Filter (AF) (sebagai secondary treatment).

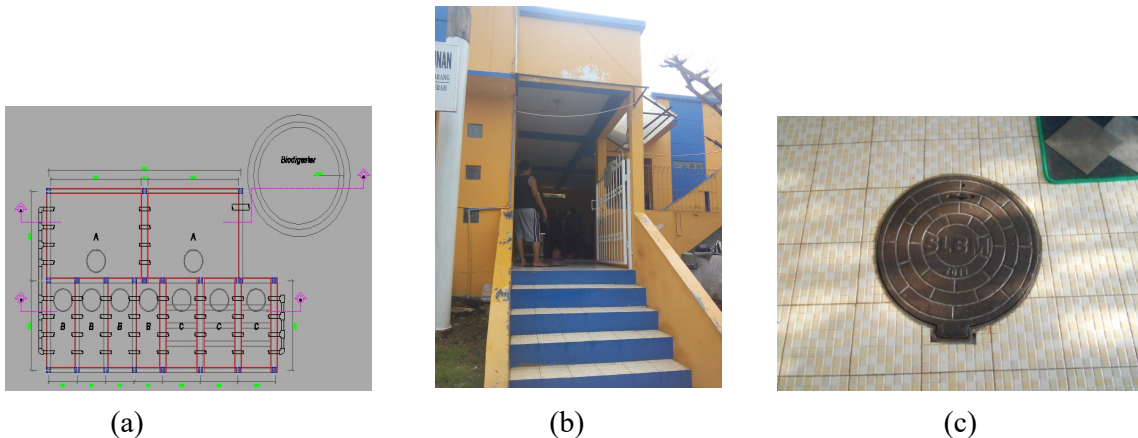
**Tabel 1**  
**Rekapitulasi Kondisi IPAL**

Tipe IPAL	MCK Plus		Sewerage		Kombinasi MCK Plus dan Sewerage	
	Nama IPAL	Gurame 2011	Dadapsari 2012	Banyumanik A 2013	Banyumanik B 2014	Pedalangan 2013
Alamat	Jalan Gurame II, Kel. Kuningan, Kec. Semarang Utara	RT 2/RW 4, Kel. Dadapsari, Kec. Semarang Utara	RT 2/RW 5, Kel. Banyumanik, Kec. Banyumanik	RT 1/RT 5, Kel. Banyumanik, Kec. Banyumanik	RT 3/RT 4, Kel. Banyumanik, Kec. Banyumanik	RT 6/RW 5, Kel. Banyumanik, Kec. Banyumanik
Koordinat	6°57'55.9"S110°24'41.5"E	6°57'51.5"S110°25'15.2"E	7°04'37.4"S110°24'19.9"E	7°04'33.5"S110°24'32.3"E	7°04'13.5"S110°28'01.1"E	7°04'45.9"S110°24'31.2"E
Jumlah Pengguna (orang)	75	85	201	262	219	183
Debit Air Limbah (m <sup>3</sup> /day)	0.96	14.76	18.23	38.02	22.64	19.40
<b>Volume (m<sup>3</sup>)</b>						
Settler	24	13.58	15	12	15	17.82
ABR	16	18.43	16	20	16	35.64
AF	15	32.74	24	37.5	24	11
<b>HRT (day) Weekday</b>						
Settler	25	0.92	0.8	0.3	0.7	0.9
ABR	16.67	1.25	0.9	0.5	0.7	1.8
AF	15.63	2.22	1.3	1	1.1	0.6
<b>HRT (day) Weekend</b>						
Settler	21.43	2.2	0.5	0.4	0.4	1.9
ABR	5.33	2.99	0.6	0.6	0.5	3.8
AF	9.47	5.31	0.9	1.2	0.7	1.2
V up (m/jam)ABR	1.25	0.213	1.25	0.52	1.25	0.24
Tebal media Filter (m) AF	0.6	2.3	0.95	1.45	0.95	0.65
Rata-Rata Pengunjung						

#### 4.1.1 MCK Gurame

Instalasi pengolahan air limbah (IPAL) Gurame berlokasi di Jalan Gurame II, Kelurahan Kuningan, Kecamatan Semarang Utara, Kota Semarang. Lokasi IPAL berada di dekat jalan raya dan pemukiman penduduk. IPAL Gurame dibangun pada tahun 2011 dan merupakan IPAL dengan tipe MCK plus berbentuk kamar mandi umum yang terdiri atas 2 kamar mandi dan 6 toilet, namun salah satu kamar mandi tidak digunakan saat penelitian dilaksanakan. Selain fasilitas MCK, di dalam bangunan juga dilengkapi dengan 1

ruangan yang dimanfaatkan penjaga MCK untuk tempat tinggal. Berdasarkan hasil pendataan penjaga MCK diketahui setiap harinya pengguna IPAL ini rata – rata 75 orang. Bak-bak pengolahan di IPAL MCK plus Gurame terdiri atas 9 bak, yaitu 2 Bak Settler dengan ukuran 3 m x 2 m x 2 m, 4 bak Anaerobic Baffle Reactor (ABR) dengan ukuran 1 m x 2 m x 2 m, 3 bak Anaerobic Filter dengan ukuran 1,25 m x 2 m x 2 m. Di antara 9 manhole bak, terdapat bak yang sulit/tidak bisa dibuka untuk dilakukan sampling, yaitu manhole bak pertama (settler).



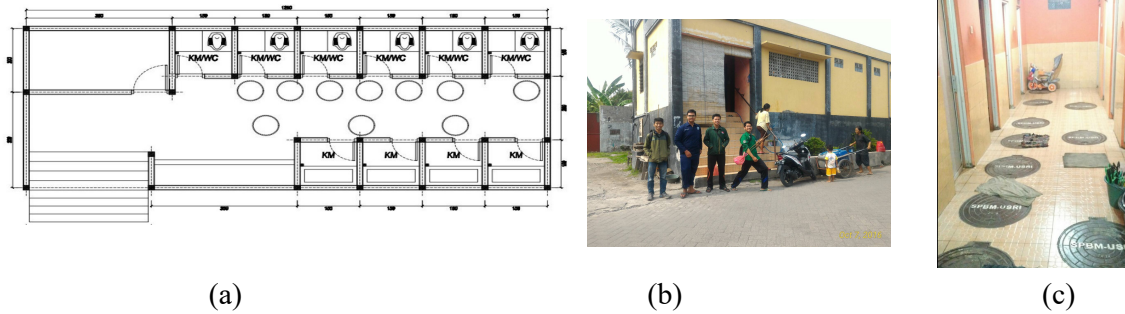
Gambar 1

Denah IPAL Gurame (a) Tampak Depan IPAL Gurame (b) Manhole IPAL (c)

#### 4.1.2 MCK Dadapsari

Instalasi Pengolahan Air Limbah (IPAL) domestic Dadapsari berlokasi di RT 02/ RW 04, Kelurahan Dadapsari, Kecamatan Semarang Utara, Kota Semarang. IPAL dibangun pada tahun 2012 dengan tipe MCK Plus berbentuk kamar mandi umum yang terdiri atas 3 kamar mandi dan 6 toilet. Bangunan pengolahan air limbah pada IPAL

ini meliputi 2 bak settler/pengendap dengan ukuran 1,85 m x 2,425 m x 2 m dan 0,95 m x 2,425 m x 2 m, 4 kompartemen Anaerobic Baffle Reactors (ABR) dengan ukuran 0,95 m x 2,425 m x 2 m, dan 3 kompartemen Anaerobic Filter (AF) dengan ukuran 2,25 m x 2,425 m x 2 m. Berdasarkan pendataan harian oleh petugas, pengguna IPAL MCK ini rata-rata 85 orang/hari.

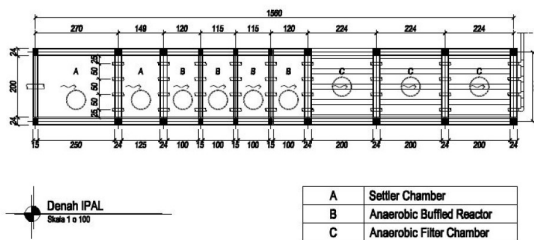


**Gambar 2**  
**Denah IPAL Dadapsari (a) Tampak Depan IPAL Dadapsari (b) Tampak Atas IPAL Dadapsari (c)**

#### 4.1.3 IPAL Banyumanik A

Instalasi Pengolahan Air Limbah Limbah (IPAL) domestic Banyumanik 2013 terletak di RT 02/ RW 05, Kelurahan Banyumanik, Kecamatan Banyumanik, Kota Semarang. IPAL berada di antara perumahan warga dan bersebelahan dengan saluran sungai. IPAL ini dibangun pada tahun 2013, merupakan IPAL dengan tipe Shallow Sewerage berbentuk bak-bak penampung dan pengolah air limbah

khususnya grey water yang bangunannya berada di bawah permukaan tanah. Bangunan pengolahan air limbahnya terdiri atas 2 bak settler/pengendap dengan ukuran 2 m x 2,5 m x 2 m dan 2 m x 1,25 m x 2 m, 4 kompartemen Anaerobic Baffle Reactors (ABR) dengan ukuran 2 m x 1 m x 2 m, dan 3 kompartemen Anaerobic Filter (AF) dengan ukuran 2 m x 2 m x 2 m.



(a) (b) (c)

**Gambar 3**  
**Denah IPAL Banyumanik A (a) Tampak Depan IPAL Banyumanik A (b) Outlet IPAL Banyumanik A (c)**

#### 4.1.4 IPAL Banyumanik B

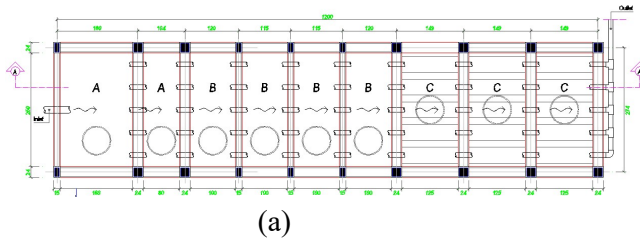
Instalasi Pengolahan Air Limbah (IPAL) domestic Banyumanik B terletak di RT 01/ RW 05, Kelurahan Banyumanik, Kecamatan Banyumanik, Kota Semarang. Lokasi IPAL berada di pemukiman warga di samping saluran sungai. IPAL dibangun pada tahun 2014 dengan tipe IPAL Shallow Sewerage

dengan beberapa bak pengolahan yang dibangun di bawah permukaan tanah. Berdasarkan buku Rencana Pembangunan IPAL USRI dan wawancara dengan pihak pengelola, pengguna IPAL ini berjumlah 262 jiwa. IPAL Banyumanik B terdiri atas 9 bak pengolahan, meliputi 2 Bak Settler dengan ukuran 2,5 m x 1,6 m x 2 m dan 2,5 m x 0,8 m



x 2 m, 4 Bak Anaerobic Baffle Reactor (ABR) dengan ukuran 2,5 m x 1 m x 2 m, 3 Bak

Anaerobic Filter (AF) dengan ukuran 2,5 m x 2 m x 2,5 m.



(a)

(b)

(c)

**Gambar 4**

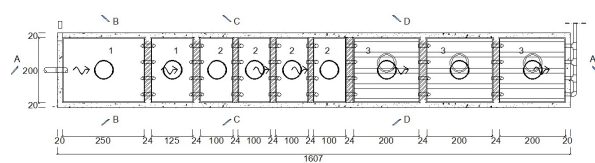
**Denah IPAL Banyumanik B (a)**

**Tampak Depan IPAL Banyumanik B (b) Outlet IPAL Banyumanik B (c)**

#### 4.1.5 IPAL Pedalangan

Instalasi Pengolahan Air Limbah (IPAL) domestik Pedalangan terletak di RT 3/RW 4, Kelurahan Pedalangan, Kecamatan Banyumanik, Kota Semarang. IPAL dibangun pada tahun 2013 dengan tipe kombinasi/mix yaitu gabungan tipe MCK dan Shallow Sewerage. Bangunan MCK meliputi 4 kamar mandi yang seluruhnya sudah dilengkapi dengan toilet. Selain itu juga terdapat keran air untuk kegiatan mencuci. Sementara untuk bangunan IPALnya dibangun di bawah tanah, atau lebih tepatnya di bangun di bawah jalan

penduduk. Bangunan IPAL Pedalangan ini terdiri atas 9 bak pengolahan, yaitu meliputi atas 2 bak settler/pengendap dengan ukuran 2 m x 2,5 m x 2 m dan 2 m x 1,25 m x 2 m, 4 kompartemen Anaerobic Baffle Reactors (ABR) dengan ukuran 2 m x 1 m x 2 m, dan 3 kompartemen Anaerobic Filter (AF) dengan ukuran 2 m x 2 m x 2 m. Berdasarkan buku Rencana Pembangunan IPAL USRI, dan wawancara dengan pengelola, pengguna IPAL ini berjumlah 219 jiwa.



(a)

(b)

(c)

**Gambar 5**

**Denah IPAL Pedalangan (a) Tampak Depan IPAL Pedalangan**

**(b) Outlet IPAL Pedalangan (c)**

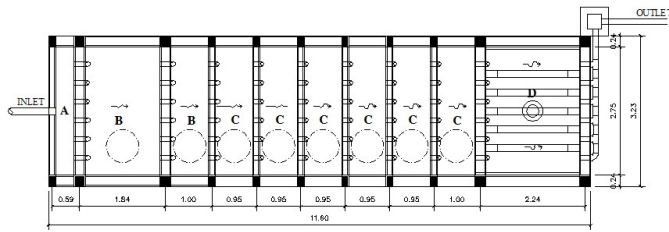
#### 4.1.6 IPAL Banyumanik C

Instalasi Pengolahan Air Limbah (IPAL) domestik Banyumanik Mix terletak di RT 6/RW 5, Kelurahan Banyumanik, Kecamatan Banyumanik, Kota Semarang. IPAL dibangun pada tahun 2012 dengan tipe IPAL Kombinasi/Mix yaitu terdiri atas bangunan instalasi pengolahan jenis Shallow Sewerage yaitu berupa bak-bak pengolahan air limbah

yang dibangun di bawah permukaan tanah dan bangunan jenis MCK Umum. Bangunan pengolahan air limbahnya terdiri atas 2 bak settler/pengendap dengan ukuran 1,6 m x 2,75 m x 2,7 m dan 0,8 m x 2,75 m x 2,7 m, 6 kompartemen Anaerobic Baffle Reactors (ABR) dengan ukuran 0,8 m x 2,75 m x 2,7 m serta 1 kompartemen Anaerobic Filter (AF) dengan ukuran 2 m x 2,75 m x 2 m. Pengguna

IPAL Komunal ini sebanyak 183 jiwa menurut Buku Rencana Pembangunan IPAL Komunal

USRI.



(a)

(b)

(c)

Gambar 6

Denah IPAL Banyumanik C (a) Tampak Depan IPAL Banyumanik C (b) Outlet IPAL Banyumanik C (c)

## 4.2 Kinerja IPAL

### 4.2.1 Aspek Operasi dan Pemeliharaan

Kegiatan operasional dan pemeliharaan yang terjadi di lapangan untuk ketiga tipe IPAL umumnya adalah sebagai berikut :

Tipe MCK Plus :

- Beberapa *manhole* sulit dibuka dan sudah berkarat. Untuk manhole inlet tidak dapat dibuka;
- Tes kualitas air limbah IPAL tidak dilakukan secara berkala, dan dilakukan ketika ada instansi/lembaga/pihak tertentu yang hendak meneliti IPAL;
- Pengurasan tidak dilakukan secara berkala.

Tipe *Shallow Sewerage* :

- Masih ditemukan limbah padat seperti sisa makanan, gelas aqua, bungkus sampo dan feses yang masuk ke dalam inlet IPAL;
- Pengelola memeriksa bak kontrol tidak secara berkala dan dilakukan ketika terjadi penyumbatan;
- Beberapa *manhole* sulit dibuka dan sudah berkarat ;
- Tes kualitas air limbah IPAL tidak dilakukan secara berkala, dan dilakukan ketika ada instansi/lembaga/pihak tertentu yang hendak meneliti IPAL;
- Pengurasan tidak dilakukan secara berkala.

Tipe Kombinasi :

- Masih ditemukan limbah padat seperti sisa makanan, gelas aqua, bungkus sampo

yang masuk ke dalam inlet pengumpul IPAL;

- Pengelola memeriksa bak kontrol tidak secara berkala dan dilakukan ketika terjadi penyumbatan;
- Beberapa *manhole* sulit dibuka dan sudah berkarat;
- Tes kualitas air limbah IPAL tidak dilakukan secara berkala, dan dilakukan ketika ada instansi/lembaga/pihak tertentu yang hendak meneliti IPAL
- Pengurasan tidak dilakukan secara berkala dan dilakukan ketika IPAL meluap.

### 4.2.2 Aspek Teknis

Di bawah ini adalah kualitas air limbah IPAL serta efisiensi bak-bak pengolahan IPAL dan efisiensi IPAL secara total dituliskan dalam tabel 2 dan tabel 3.



**Tabel 2**  
**Kualitas Air Limbah IPAL**

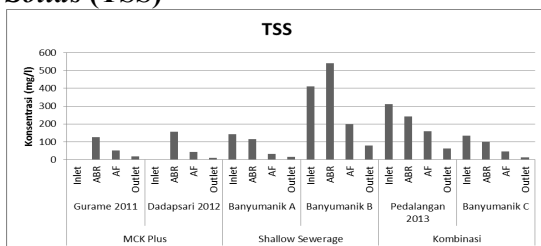
Tipe IPAL	Nama IPAL	Titik Sampling	Parameter			
			COD	TSS	Ammonium	Nitrit
MCK Plus	Gurame	Inlet	0.0	0.0	-	-
		ABR	96.6	126	0.144	5.469
		AF	87.4	50.2	0.185	6.368
		Outlet	36.3	17.7	0.466	5.514
	Dadapsari	Inlet	0.0	0.0	-	-
		ABR	336.8	156.0	0.305	1.658
		AF	83.4	44.2	0.590	0.439
		Outlet	37.6	8.4	0.798	0.826
		Shallow Sewerage	Banyumanik A	Inlet	221.4	142.0
ABR	139.4			139.4	0.017	3.386
AF	51.2			31.7	0.049	0.086
Banyumanik B	Outlet		21.3	16.4	0.222	2.465
	Inlet		391.9	412.0	1.146	2.218
	ABR		703.6	541.0	0.009	8.596
	AF		118.2	197.5	0.016	3.566
	Outlet		47.1	77.8	0.012	1.185
	Kombinasi		Pedalangan	Inlet	594.3	312.0
ABR		560.8		242.0	0.252	0.242
AF		229.7		158.0	0.287	0.242
Outlet		91.5		62.3	0.721	0.017
Banyumanik C		Inlet	223.0	133.0	0.095	2.420
		ABR	121.0	101.0	0.111	0.709
		AF	39.3	45.0	0.376	0.542
		Outlet	15.0	12.2	0.242	0.489

**Tabel 3**  
**Efisiensi IPAL Komunal (%)**

Efisiensi Bak Pengolahan	Settler		ABR		AF		IPAL	
	TSS	COD	TSS	COD	TSS	COD	TSS	COD
MCK Gurame	-	-	60.2	9.58	64.82	58.41	85.95	62.42
MCK Dadapsari	-	-	71.66	75.23	80.99	54.89	94.62	88.84
IPAL Sewerage Banyumanik A	20.07	37.01	72.03	63.29	48.19	58.41	88.45	90.38
IPAL Sewerage Banyumanik B	(-)31.31	(-)79.52	63.49	83.20	60.58	60.17	81.12	87.98
IPAL Kombinasi Pedalangan	22.44	5.63	34.71	59.04	60.58	60.17	80.03	84.80
IPAL Kombinasi Banyumanik C	24.06	45.73	55.45	67.54	72.97	61.93	90.83	93.27

Sumber: Analisis Penulis, 2016

#### 4.2.2.1 Efisiensi Penyisihan Total Suspended Solids (TSS)



**Gambar 7 Rekapitulasi Hasil Kualitas Air Limbah Parameter TSS Tiap Bak Pengolahan**

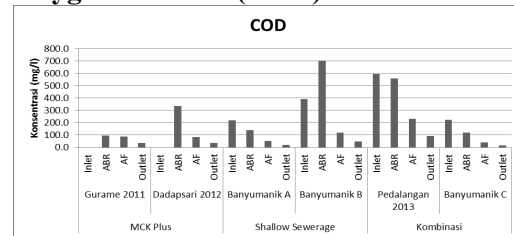
**Bak Settler** : efisiensi removal bak settler terhadap parameter TSS pada IPAL Banyumanik A, IPAL Banyumanik B, IPAL Pedalangan dan IPAL Banyumanik C masing-masing yaitu 20.07%, (-)31.31%, 22.44% dan 24.06%. IPAL Banyumanik B (tipe shallow sewerage) menunjukkan nilai efisiensi

negative, hal ini dapat dikarenakan scum-scum yang ikut terbawa saat sampling dan uji laboratorium sehingga mempengaruhi hasil TSS yang didapat.

**Bak ABR** : Efisiensi removal dari bak ABR terhadap parameter TSS pada MCK Plus (Gurame, Dadapsari), Shallow sewerage (IPAL Banyumanik A, IPAL Banyumanik B), dan Kombinasi (IPAL Pedalangan, IPAL Banyumanik C) secara berturut-turut yaitu 60.2%, 71.66%, 72.03%, 63.49%, 34.71%, 55.45%.

**Bak AF** : Efisiensi removal dari bak AF terhadap parameter TSS pada MCK Plus (Gurame, Dadapsari), Shallow sewerage (IPAL Banyumanik A, IPAL Banyumanik B), dan Kombinasi (IPAL Pedalangan, IPAL Banyumanik C) secara berturut-turut yaitu 64.82%, 80.99%, 48.19%, 60.58%, 60.58%, 72.97%.

#### 4.2.2.2 Efisiensi Penyisihan Chemical Oxygen Demand (COD)



**Gambar 8 Rekapitulasi Hasil Kualitas Air Limbah Parameter COD Tiap Bak Pengolahan**

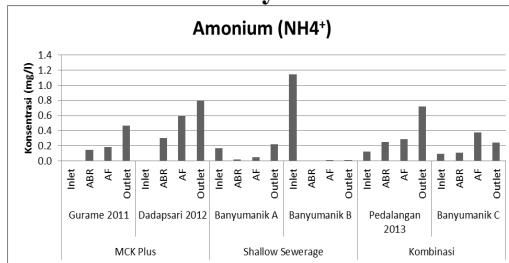
**Bak Settler** : Efisiensi removal bak settler terhadap parameter COD pada IPAL Banyumanik A, IPAL Banyumanik B, IPAL Pedalangan dan IPAL Banyumanik C masing-masing yaitu 37.01%, (-)79.52%, 5.63% dan 45.73%. IPAL Banyumanik B (tipe shallow sewerage) menunjukkan nilai efisiensi negative, hal ini dapat dikarenakan scum-scum yang ikut terbawa saat sampling dan uji laboratorium sehingga mempengaruhi hasil TSS yang didapat.

**Bak ABR** : Efisiensi removal dari bak ABR terhadap parameter COD pada MCK Plus (Gurame, Dadapsari), Shallow sewerage (IPAL Banyumanik A, IPAL Banyumanik B), dan Kombinasi (IPAL Pedalangan, IPAL

Banyumanik C) secara berturut-turut yaitu 9.58%, 75.23%, 63.29%, 83.20%, 59.04%, 67.54%.

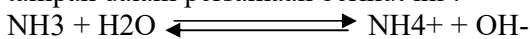
**Bak AF** : Efisiensi removal dari bak AF terhadap parameter COD pada MCK Plus (Gurame, Dadapsari), Shallow sewerage (IPAL Banyumanik A, IPAL Banyumanik B), dan Kombinasi (IPAL Pedalangan, IPAL Banyumanik C) secara berturut-turut yaitu 58.41%, 54.89%, 58.41%, 60.17%, 60.17%, 61.93%.

#### 4.2.2.3 Efisiensi Penyisihan Nutrient



**Gambar 9 Rekapitulasi Hasil Kualitas Air Limbah Parameter Ammonium Tiap Bak Pengolahan**

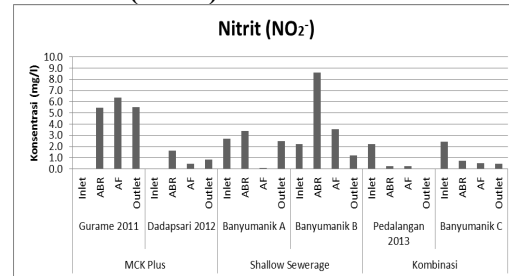
MCK Dadapsari terlihat adanya peningkatan konsentrasi amonium dari bak ABR, bak AF, dan outlet. Hal ini dapat dikarenakan pH di bak tersebut saat di sampling menunjukkan pH bak berada pada range 7 ke bawah dari mulai bak ABR, AF dan outlet. Hal ini berkaitan dengan hubungan diantara kedua bentuk amonia ini dalam suatu sistem keseimbangan (Naibaho, 1998), seperti tampak dalam persamaan berikut ini :



Pada pH lebih besar dari 7 reaksi akan bergeser ke sebelah kiri, sedangkan pada pH kurang 7 reaksi akan bergeser ke sebelah kanan. Kondisi pH tersebut menunjukkan bahwa reaksi bergeser ke arah kanan, yang mana mengakibatkan jumlah amonia yang terionisasi lebih banyak dibanding dengan amonia yang tidak terionisasi. Sama halnya dengan yang terjadi di IPAL kombinasi Pedalangan, terjadi peningkatan amonium yang mana dalam kondisi pH yang serupa, masih berada pada range 7 ke bawah. Sementara, untuk IPAL Banyumanik A mengalami peningkatan konsentrasi di bak ABR, AF dan outlet, bahkan konsentrasi outlet

lebih besar daripada inlet. IPAL Banyumanik A juga mengalami penurunan konsentrasi dari Inlet ke bak ABR. IPAL Banyumanik B terjadi penurunan yang signifikan dari inlet (1.146 mg/l) menuju outlet (0.012 mg/l) dan fluktuasi kenaikan konsentrasi di bak ABR, AF dan outlet walaupun tidak signifikan. Pada Banyumanik C terjadi pula peningkatan konsentrasi di bak inlet ke bak ABR, dan penurunan konsentrasi di bak AF ke outlet. Namun, konsentrasi inlet (0.095 mg/l) masih lebih kecil dibanding konsentrasi outlet (0.242 mg/l). Hal ini dapat dikarenakan adanya perubahan pH yang terjadi dalam IPAL yang mana pH berpengaruh.

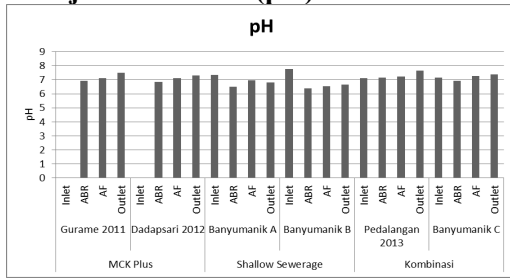
#### - Nitrit (NO<sub>2</sub>-)



**Gambar 10 Rekapitulasi Hasil Kualitas Air Limbah Parameter Nitrit Tiap Bak Pengolahan**

Dari keenam IPAL, konsentrasi nitrit untuk tipe IPAL MCK adalah sekitar 0.439 mg/l sampai 6.4 mg/l, tipe IPAL Sewerage sekitar 0.086 mg/l sampai 8.596 mg/l, dan tipe IPAL Kombinasi sekitar 0.017 mg/l sampai 2.420 mg/l. Dari ketiga tipe IPAL, range konsentrasi nitrit terbesar adalah tipe IPAL Sewerage, terutama di IPAL Banyumanik B. Hal ini dapat disebabkan IPAL tersebut melayani pengguna terbanyak dibanding tipe IPAL lainnya, sehingga limbah domestik yang masuk dan dioksidasi oleh bakteri nitrit juga banyak. Sementara untuk range konsentrasi nitrit terkecil adalah pada tipe IPAL Kombinasi, terutama IPAL Pedalangan 2013. Konsentrasi nitrit yang kecil dalam pengolahan IPAL tipe Kombinasi dapat disebabkan sedikitnya limbah domestik yang masuk ke dalam instalasi, sehingga sedikit pula limbah organik yang dioksidasi bakteri nitrit.

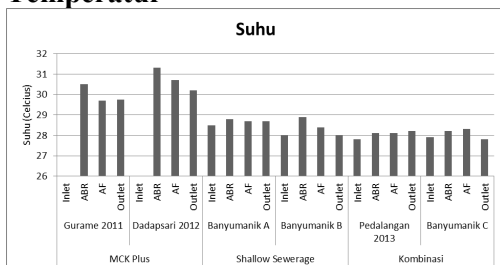
### Derajat Keasaman (pH)



**Gambar 11 Rekapitulasi Hasil Kualitas Air Limbah Parameter pH Tiap Bak Pengolahan**

Limbah domestik biasanya mempunyai pH mendekati netral (Jenie & Rahayu, 1993). Nilai pH influent, bak ABR, bak AF, dan effluent air limbah dari keenam IPAL komunal MCK Gurame 2011, MCK Dadapsari 2012, IPAL Banyumanik A 2013, IPAL Banyumanik B 2014, IPAL Pedalangan 2013, dan IPAL Banyumanik C 2012 cenderung bersifat netral. Hal ini dapat dilihat pada grafik yang menunjukkan bahwa nilai pH influent dan effluent air limbah berkisar di angka 7. Influent air limbah yang memiliki nilai pH dibawah 5 atau di atas 9 akan susah diolah dan membutuhkan mixing tank untuk menyeimbangkan pH air limbah tersebut Nilai effluent dengan pH netral mengindikasikan performa unit pengolahan yang optimal (Gutterer,2009).

### Temperatur



**Gambar 12 Rekapitulasi Hasil Kualitas Air Limbah Parameter Suhu Tiap Bak Pengolahan**

Nilai suhu influent, bak ABR, bak AF dan effluent air limbah dari keenam IPAL komunal MCK Gurame 2011, MCK Dadapsari 2012, IPAL Banyumanik A 2013, IPAL Banyumanik B 2014, IPAL Pedalangan 2013, dan IPAL Banyumanik C 2012 berada dalam kisaran 27–31.3°C. Suhu ini masih dapat dikatakan

normal untuk Kota Semarang karena berdasarkan BPS Kota Semarang (2009) yaitu suhu udara rata-ratanya mulai dari 23.2°C sampai dengan 34°C. Di antara ke 6 IPAL, influen dengan suhu udara tertinggi rata-rata adalah IPAL dengan jenis MCK Plus, yaitu MCK Gurame 2011 dan MCK Dadapsari 2012 yaitu berkisar 30-32°C. Hal ini dapat dikarenakan proporsi limbah yang diolah, pada IPAL tipe MCK, kebanyakan adalah limbah black water di samping dari limbah grey water. Suhu yang cocok untuk proses digestion MCK ini pada umumnya adalah antara 30-40°C (Sya'bani, 2014). Sementara untuk lainnya, IPAL tipe shallow sewerage dan tipe kombinasi suhu berada dalam kisaran 27-29°C.

### 4.2.3 Kinerja IPAL Terkait Aspek Teknis dan Aspek Operasional/Pemeliharaan

Berdasarkan penjelasan sebelumnya terkait aspek operasional dan pemeliharaan IPAL serta tabel 4.4 terkait efisiensi removal IPAL, dari keenam IPAL (dengan tiga tipe berbeda) kemudian dilakukan skoring dengan ketentuan:

#### Efisiensi Tinggi ke Rendah

Posisi 1 = 6 ; 2 = 5; 3 =4; 4 =3; 5 =2; dan 6 =1

## Operasional dan Maintenance

Dilakukan = 1; tidak dilakukan = 0

Tabel 4  
**Skoring Penilaian IPAL**

IPAL	Efisiensi COD			Efisiensi TSS			Efisiensi Total		OM		Total Skor
	Settler	ABR	AF	Settler	ABR	AF	COD	TSS	OM	Pengurusan	
MCK Dadapsari	2	5	4	2	5	6	4	6	0	0	34
MCK Gurame	2	1	3	2	3	4	1	3	0	0	13
IPAL Banyumanik A	5	3	3	4	6	2	5	4	0	0	32
IPAL Banyumanik B	3	6	5	3	4	3	3	2	0	0	29
IPAL Pedalangan	4	2	5	5	1	3	2	1	0	0	23
IPA Banyumanik C	6	4	6	6	2	5	6	5	0	0	40

Sumber: Analisis Penulis, 2016

Dari tabel skoring di atas dapat diketahui bahwa IPAL Banyumanik C memperoleh skor tertinggi yaitu dengan 40 poin, kemudian dilanjutkan dengan MCK Dadapsari 34 poin, IPAL Banyumanik A 32 poin, IPAL Banyumanik B 29 poin, IPAL Pedalangan 23 poin dan terakhir adalah MCK Gurame 13 poin.

## KESIMPULAN DAN SARAN

### Kesimpulan

#### 1. Aspek Operasional Pemeliharaan

Operasional dan Pemeliharaan dilakukan secara kuratif, yaitu ketika ada permasalahan baik pada sambungan rumah, perpipaan dan Instalasi Pengolahan Air Limbah (IPAL) baru kemudian dilakukan perbaikan. Selain itu, pada keenam IPAL, belum dilakukan pengurusan IPAL. Serta pada IPAL, kondisi manhole sulit dibuka, terutama pada bagian inlet (MCK Gurame 2011 dan MCK Dadapsari 2012), bak settler (IPAL Banyumanik A 2013), bak Anaerobic Filter (IPAL Banyumanik C 2012).

#### 2. Aspek Teknis

- Perbedaan performa bak Settler, ABR, dan AF dalam penyisihan TSS dan COD dipengaruhi oleh faktor-faktor :

a) Bak Settler : kriteria desain, karakteristik solid, tipe settler, dan Hydraulic Retention Time (HRT)

b) Bak ABR : hydraulic retention time (HRT), V up dan banyak bak ABR

c) Bak AF : hydraulic retention time (HRT), tebal media filter dan banyak bak AF

- IPAL Banyumanik C memperoleh skor tertinggi yaitu dengan 40 poin, kemudian dilanjutkan dengan MCK Dadapsari 34 poin, IPAL Banyumanik A 32 poin, IPAL Banyumanik B 29 poin, IPAL Pedalangan 23 poin dan terakhir adalah MCK Gurame 13 poin.

## DAFTAR PUSTAKA

- \_\_\_\_\_. 1995. *Survei Penduduk antar Sensus (SUPAS)*. Biro Pusat Statistik. Jakarta
- Anonim. 1998. *Pedoman Pengelolaan Air*. Direktorat Jendral Pengairan Departemen Pekerjaan Umum. Jakarta
- Afandi, Y V, Sunoko, H R dan Kismartini. 2013. *Pengelolaan Air Limbah Domestik Komunal Berbasis Masyarakat di Kota Probolinggo*. Prosiding seminar nasional pengelolaan Sumber Daya Alam dan Lingkungan. Universitas Diponegoro. Kota Semarang
- Alaerts, G dan Santika, S.S. 1987. *Metoda Penelitian Air*. Surabaya: Usaha Nasional.
- Atmaja, P W. 2016. *Detail Engineering Design Air Limbah Zona 1 Kab. Lombok Timur: Standar Operasional Dan Pemeliharaan IPAL*. CV. Singajaya Konsultan. Denpasar
- Barlin. 1995. *Analisis dan Evaluasi Hukum Tentang Pencemaran Akibat Limbah Rumah Sakit*. Badan Pembinaan Hukum Nasional : Jakarta.
- Bitton, Gabriel. 2005. *Wastewater Microbiology Third Edition*. John Wiley & Sons, Inc., Hoboken, New Jersey.
- BPPT, 2010. *Pengembangan Teknologi Untuk Mengolah Senyawa Nitrogen Dalam Air Limbah Dengan Menggunakan Reaktor Berbahan Isian Batu Belerang Dan Batu Kapur*. Jakarta
- Chunlong Zhang. 2007. *Fundamental of Environmental Sampling and Analysis*. A John Wiley & Sons, Inc., Publication.
- Dahab, Mohamed Fitri. 1982. *Effects of media design on anaerobic filter*



- performance. *Retrospective Theses and Dissertations. Paper 7496*. United State. Iowa State University
- Departemen Pekerjaan Umum. 2000. *Tata Cara Perencanaan Cubluk Kembar*. Departemen Pekerjaan Umum. Yogyakarta
- Departemen Pekerjaan Umum. 2010. *Buku Referensi Opsi Sistem dan Teknologi Sanitasi*. Departemen Pekerjaan Umum. Jakarta
- Departemen Pekerjaan Umum. 2010. *Tata Cara Dasar – Dasar Pengelolaan Air Limbah*. Departemen Pekerjaan Umum. Jakarta
- EAWAG/SANDEC (Editor) (2008): *Sanitation Systems and Technologies. Lecture Notes*. (= Sandec Training Tool 1.0, Module 4). Duebendorf: Swiss Federal Institute of Aquatic Science (EAWAG), Department of Water and Sanitation in Developing Countries (SANDEC).
- Effendi, H. 2003. *Telaah Kualitas Air Bagi Pengelolaan Sumber Daya dan Lingkungan Perairan*. PT Kanisius. Yogyakarta.
- Fitria, N.N . 2011. *Analisa Outlet Proses Pengelolaan Limbah Cair Di Unit Effluent Treatment dan Advanced Treadment Pabrik III Perokimia Gresik Jawa Timur*. Laporan Khusus. Surakarta: Universitas Sebelas Maret
- Foxon, K.M., Pillay, S., Lalbahadur, T., Rodda, N., Holder, F., Buckley, C.A., 2004. *The Anaerobic Baffled Reactor (ABR): an appropriate technology for on-site sanitation*. In: Proceedings: 2004 Water Institute of South Africa (WISA) Biennial Conference, Cape Town, South Africa.
- Gutterer, Bernd, Ludwig Sasse, Thilo Panzerbieter, and Thorsten Reckerzügel. (2009) *Decentralised wastewater treatment systems (DEWATS) and sanitation in developing countries: a practical guide*. BORDA :Bremen
- Hardjosuprpto, Masduki (Moduto). 2000. *Penyaluran Air Buangan : Volume II*. ITB. Bandung
- Hasan, M. Iqbal. 2002. *Pokok-Pokok Materi Metodologi Penelitian dan Aplikasinya*. Penerbit Ghalia Indonesia. Jakarta.
- Hastuti, E, Medawati, I dan Darwati, S. 2014. *Kajian Penerapan Teknologi Biofilter Skala Komunal untuk Memenuhi Standar Perencanaan Pengolahan Air Limbah Domestik*. Pusat Litbang Permukiman Badan Litbang PU. Bandung
- Hindarko, S. 2003. *Mengolah Air Limbah. Supaya tidak Mencemari Orang Lain*. Penerbit ESHA. Jakarta.
- Huda, T. 2009. Hubungan Antara *Total Suspended Solid* Dengan Turbidity Dan Dissolved Oxygen. [cited: 2016. October, 16]. Available from: <http://thorik.staff.uui.ac.id/2009/08/23/hubungan-antara-total-suspended-solid-dengan-turbidity-dan-dissolved-oxygen/>.
- Indriani, Tika dan Herumurti, Welly, 2007, *Studi Efisiensi Paket Pengolahan Greywater Model Kombinasi ABR-Anaero Filter*, Jurusan Teknik Lingkungan, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, ITS 10 Nopember, Surabaya.
- Jenie.L.S. 1993. *Penanganan Limbah Industri Pangan*. Kristanto.P. 2002. Yogyakarta : Penerbit Kanisius
- Kementerian Pekerjaan Umum Direktorat Jendral Cipta Karya. 2013. *Dokumen Rencana Pembangunan (DRP) Program Sanitasi Perkotaan Berbasis Masyarakat Tahun 2013*. DPU. Kota Semarang
- Kusnadi. 2014. *Mikrobiologi Lingkungan*. Politeknik Negeri Bandung. Bandung
- Kusnopranto, Haryoto, 1986. *Kesehatan Lingkungan*. Depdikbud, Fakultas Kesehatan Masyarakat Universitas Indonesia, Jakarta
- Mahida, U.N. 1993. *Pencemaran Air dan Pemanfaatan Limbah Industri*. Penerbit Manajemen PT Raja Grafindo Persada. Jakarta
- Mara, Duncan. 1996. *Low-Cost Urban Sanitation*. John Wiley and Sons Inc. England





- Mara, D. 2004. *Domestik Wastewater Treatment in Developing Countries*. Earthscan. London.
- Morel A., Diener S. 2006. *Greywater Management in Low and Middle-Income Countries, Review of different treatment systems for households or neighbourhoods*. Swiss Federal Institute of Aquatic Science and Technology (Eawag). Dübendorf, Switzerland.
- Naibaho, P. M. 1998. *Teknologi Pengolahan Kelapa Sawit*. Pusat Penelitian Kelapa Sawit. Medan
- Peavy, Howard S. 1985. *Environmental Engineering*. McGraw-Hill. Singapura
- Pescod. M. B. 1978. *Environmental Indices Theory and Practice*. Ann Arbor Science Inc : Michigan
- Purwanto, B. (2008). *Sistem Pengolahan Air Limbah Rumah Tangga di Kota Tangerang*. Percik, Vol. 5 tahun 1
- Ratna Sari, N, Sunarto dan Wiryanto. 2015. *Analisis Komparasi Kualitas Air Limbah Domestik Berdasarkan Parameter Biologi, Fisika dan Kimia di IPAL Semanggi dan IPAL Mojosongo Surakarta*. Universitas Sebelas Maret. Surakarta
- Rekoyoso, Bonis. Syafrudin., Sudarno.2012. *Pengaruh Hydraulic Retention Time (HRT) dan Konsentrasi Influen Terhadap Penyisihan Parameter BOD dan COD Pada Pengolahan Limbah Domestik Greywater Artificial Menggunakan Reaktor UASB*. Semarang : UNDIP
- Reynaud N., Rahiem F., Fladerer F., Kühn V., Buckley C., Krebs P. 2010. *Challenging Design Assumptions Of A Dewats-Plant In Indonesia*. *Conference. WISA 2010 Biennial Conference & Exhibition*, Durban, Afrika Selatan.
- Reynolds. 1982. *Unit Operation and Processes in Environmental Engineering*, Texas A&M University, Brook/Cole Engineering Division, California.
- Said, N I. 2002. *Teknologi Pengolahan Limbah Cair Industri Bagian 1C : Teknologi Pengolahan Limbah Cair dengan Proses Biologis*. Pusat Pengkajian dan Penerapan Teknologi Lingkungan Deputi Bidang Teknologi Informasi, Energi, Material dan Lingkungan Badan Pengkajian dan Penerapan Teknologi. Jakarta
- Sasse, L., 1998, *DEWATS (Decentralized Wastewater Treatment in Developing Countries)*, Bremen Overseas Research and Development Association (BORDA).
- Sawyer, C.N , Mc Carty, P.L dan Parkin, G. 1994. *Chemistry for Environmental Engineering*. Mc Graw Hill Internasional Education. Singapore
- Sibooli, Humble M. 2013. *Assessment Of The Performance Characteristics And Applicability Of Decentralized Wastewater Treatment Systems To Peri Urban Settlements In Zambia*. Lusaka. The University of Zambia
- Sihaloho, Wira S. 2009. *Analisa Kandungan Amonia Dari Limbah Cair Inlet dan Outlet Dari Beberapa Industri Kelapa Sawit*. Karya Ilmiah. Medan : Universitas Sumatera Utara
- Soeparman. 2002. *Pembuangan Tinja dan Limbah Cair*. EGC.Jakarta
- Sudarno, Andarani. P, Wibowo. M.A, Goonetilleka. A. 2015. *Evaluation Of Factors That Influence Performance Of The Decentralized Wastewater Treatment System 'SANIMAS'*. Universitas Diponegoro. Semarang
- Sugiharto. 1987. *Dasar-Dasar Pengolahan Air Limbah*. Universitas Indonesia Press. Jakarta
- Sugiyono, 1999. *Statistik Nonparametris Untuk Penelitian*. Penerbit Alfabeta. Bandung
- Sundstrom, Donald W., and Herbert E. Klei. 1979. *Wastewater Treatment*. Prentice-Hall Inc. USA.
- Supradata. 2005. *Pengolahan Limbah Domestik Menggunakan Tanaman Hias Cyperus alternifolius Dalam sistem Lahan Basah Buatan Aliran Bawah Permukaan*. Tesis Magister Ilmu Lingkungan. Semarang: Universitas Diponegoro. Available at : [Diakses pada tanggal 20 Oktober 2016]



- Sya'bani, M Rizki. 2014. *Anaerobic Baffle Reactor (ABR)*. Bandung : Institut Teknologi Bandung
- Tchobanoglous, George and Franklin L. Burton. 1991. *Wastewater Engineering Treatment, Disposal, and Reuse, 3th ed.* McGraw-Hill Company. Singapore.
- Tchobanoglous, G., Burton, F. L., & Stensel, H. D. (2003). *Wastewater engineering: treatment and reuse (4th ed.)*. Boston: McGraw-Hill.
- Tchobanoglous. 2004. *Wastewater Engineering, Treatment and Reuse, Fourth Edition*. Mc Graw-Hill, Inc. New York
- Tilley, E.; Ulrich, L.; Luethi, C.; Reymond, P.; Zurbruegg, C. (2014): *Compendium of Sanitation Systems and Technologies*. 2nd Revised Edition. Duebendorf, Switzerland: Swiss Federal Institute of Aquatic Science and Technology (Eawag).
- Tjokrokusumo. 1995. *Pengantar Teknik Lingkungan*. STTL, YLH. Yogyakarta
- Ulum, G H, Suherman dan Syafrudin. 2015. *Kinerja Pengelolaan IPAL Berbasis Masyarakat Program USRI Kelurahan Ngijo, Kecamatan Gunung Pati, Kota Semarang*. Universitas Diponegoro. Kota Semarang
- Washington State Departement of Health. 2007. *Nitrogen Reducing Technologies For Onsite Wastewater Treatment Systems*. Olympia. Washington State Department Of Health
- Water and Sanitation Program, 2013. *Review of Community-Managed DEWATS in Indonesia*. Field Note
- Widyaningsih, Vini. 2011. *Pengolahan Limbah Cair Kantin Yongma FISIP UI*. Universitas Indonesia. Jakarta
- Yustina Ida. 2009. *Penentuan Kadar Nitrit pada Beberapa Air Sungai Di Kota Medan Dengan Metode Spektrofotometri (Visible)*. Skripsi. Program Diploma 3 Kimia Analisis Departemen Kimia FMIPA. Medan: Universitas Sumatera Utara. Available at : [Diakses pada tanggal 26 Oktober 2016]
- \_\_\_\_\_. *Water Quality : Ammonia*. 20 November 2016  
<<http://web.utk.edu/~rstrange/wfs556/html-content/05-ammonia.html>>