

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Air Limbah Domestik

Definisi air limbah domestik merupakan air limbah yang berasal dari aktivitas makhluk hidup sehari-hari manusia yang berhubungan dengan pemakaian air (PermenLHK/68, 2016). Pemantauan air limbah dilakukan untuk mengetahui pemenuhan ketentuan baku mutu air limbah. Setiap badan air yang kualitasnya telah terpengaruh akibat aktivitas manusia dapat dianggap sebagai air limbah. Air limbah domestik dihasilkan dari skala rumah tangga yang dapat dibagi menjadi dua jenis yaitu *black water* terdiri dari hasil limbah tinja, air kencing dan *grey water* berasal dari penggunaan air mandi, air limbah dapur, air cucian (Said, 2017).

Proses pengolahan fisik, kimia dan biologi diperlukan memahami sumber-sumber yang dihasilkan sehingga dapat mengetahui teknologi dari pengolahan yang tepat. Sumber-sumber dari sifat fisik, kimia dan biologi yaitu biasanya tergantung dari konsentrasi yang dihasilkan, misalnya sifat fisik, kimia dan biologi biasanya berasal dari limbah domestik, limbah industri dan penguraian limbah domestik.

Parameter fisik, kimia dan biologi berguna untuk mengetahui keadaan lingkungan dalam menentukan karakteristik air limbah, sehingga keterjagaannya dalam pengolahan air limbah untuk menjadi baik. Hasil dan nilai dari pengujian tergantung pada metode sampling dan teknis dalam pengujian. Karakteristik air limbah domestik dapat dibagi menjadi karakteristik fisika, kimia dan biologi dapat dilihat sebagai berikut:

Tabel 2.1 Karakteristik Air Limbah Domestik

Parameter	Satuan	Konsentrasi mg/L		
		Tinggi	Sedang	Rendah
Total Padatan	mg/L	1200	720	350
Total Terlarut	mg/L	850	500	250
Total Tersuspensi	mg/L	350	220	100
Biochemical oxygen demand (BOD)	mg/L	400	220	110
Chemical oxygen demand (COD)	mg/L	1000	500	250
Total Organic Carbon (TOC)	mg/L	290	160	80
Nitrogen	mg/L	85	40	20
Organik	mg/L	35	15	8
Amoniak	mg/L	50	25	12
Phospor	mg/L	15	8	4
Sulfate	mg/L	50	20	30
Chlorida	mg/L	100	50	30
Minyak dan Lemak	mg/L	150	100	50
Alkalinitas (CaCO ₃)	mg/L	200	100	50
Total Coliform	MPN/100 ml	10 ⁷ - 10 ⁹	10 ⁷ - 10 ⁸	10 ⁶ - 10 ⁷

Sumber: Metcalf and Eddy dalam Muttamara, 1996

Indikasi pencemaran air dapat dilihat dari timbulkan endapan, koloid dan bahan terlarut dalam bentuk padatan. Indikasi pencemaran air dapat diketahui melalui pengujian dan pengamatan. Oleh karena itu, apabila tidak memenuhi baku mutu dapat mengubah kualitas air dan mengganggu keberlangsungan hidup organisme disekitarnya apabila terjadinya perubahan warna, bau dan rasa (Wardana,1999).

Keunggulan dari proses penguraian bahan organik secara anaerobik dan aerobik adalah teknologi yang sederhana dengan efisiensi pengolahan tinggi dan *loading rate* dapat mencapai 20-30 kg COD/m³, produksi lumpur aktif yang sedikit dapat diambil sebagai sumber energi (Jules, 2008). Salah satu upaya pengolahan air limbah domestik dalam menjaga kualitas air, maka dibuat standar baku mutu air limbah domestik tersendiri yang tercantum dalam Peraturan Menteri Lingkungan Hidup dan Kehutanan Republik Indonesia No. 68 Tahun

2016 tentang Baku Mutu Air Limbah Domestik. Berikut merupakan standar baku mutu air limbah domestik yang telah ditetapkan pada tabel 2.2 dibawah ini:

Tabel 2.2 Baku Mutu Limbah Cair Domestik

Parameter	Satuan	Kadar Maksimum*
pH	-	6 s.d. 9
BOD	mg/L	30
COD	mg/L	100
TSS	mg/L	30
Minyak & Lemak	mg/L	5
Amoniak	mg/L	10
Total Coliform	jumlah/100mL	3000
Debit	L/orang/hari	10

Sumber: Permen LHK No.68 Tahun 2016

Selain itu pemerintah D.I Yogyakarta mempunyai peraturan tersendiri terkait dengan baku mutu air limbah yaitu Peraturan Daerah Istimewa Yogyakarta Nomor 7 tahun 2016 mengenai Baku Mutu Air Limbah. Peraturan ini dibuat sesuai dengan kondisi lingkungan di daerah Yogyakarta. Adapun baku mutu air limbah sebagai berikut:

Tabel 2.3 Baku mutu Air limbah Kegiatan IPAL Domestik Komunal

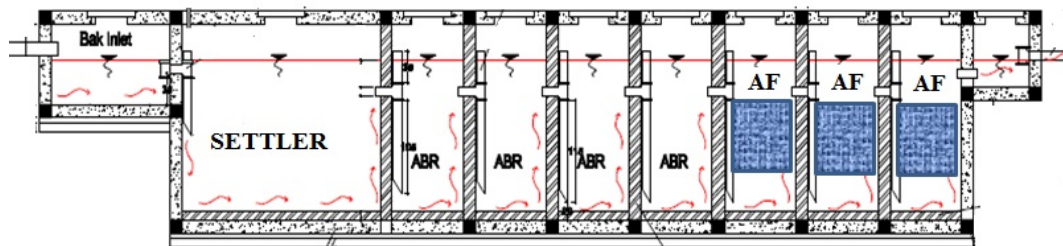
Parameter	Satuan	Kadar Maksimum
BOD	mg/L	75
COD	mg/L	200
TDS	mg/L	2000
TSS	mg/L	75
Minyak & Lemak	mg/L	10
Detergen	mg/L	5
Suhu	°C	±3
pH	-	6 s.d. 9
Coliform	MPN/100mL	10000

Sumber: Perda DIY Nomor 7 Tahun 2016

2.2 IPAL Komunal

Sistem pengelolaan IPAL domestik komunal telah mengalami beberapa sistem dengan modifikasi. Perkembangan tersebut menuju kepada pengelolaan air limbah yang berkelanjutan, mulai dari sistem anaerob hingga sistem aerob dengan konsep *Activated Sludge* (Prisanto dkk, 2015).

Realisasi dari IPAL mendiro yaitu mempunyai bak pengolahan limbah dengan kapasitas 500 jiwa yang meliputi bak *equalisasi*, bak *settler*, *anaerobic baffle reactor*, *anaerobic Filter*, *Gravel filter* ialah media filter berupa batu koral dan krikil yang ditanami tumbuhan yang dapat mengurai polutan seperti amonia, dan kolam stabilisasi. Dibawah ini adalah sistem IPAL Komunal:



Gambar 2.1 Sistem IPAL Komunal (Gutterer, 2009)

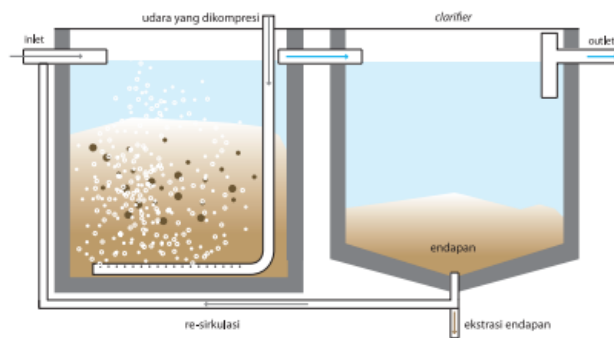
Menurut Purba (2012) Teknologi yang digunakan dalam pengolahan sistem IPAL Komunal terbagi dua jenis proses yaitu:

- Proses biologis dengan biakan tersuspensi adalah sistem pengolahan dengan menggunakan aktivitas mikroorganisme untuk menguraikan senyawa polutan yang ada di dalam air dan mikroorganisme yang digunakan dibiakkan secara tersuspensi di dalam suatu reaktor. Beberapa contoh proses pengolahan dengan sistem ini antara lain : proses lumpur aktif standar atau konvensional (*standard activated sludge*), *step aeration*, *contact stabilization*, *extended aeration*, *oxidation ditch*.
- Proses biologis dengan biakan melekat yakni proses ini disebut juga dengan proses film mikrobiologis atau proses biofilm. Sehingga mikroorganisme tersebut melekat pada permukaan media. Beberapa contoh teknologi pengolahan air limbah dengan cara ini antara lain : *Trickling Filter*, *Biofilter*

tercelup, reaktor kontak biologis putar (*Rotating Biological Contactor*, *RBC*).

IPAL Komunal yang menggunakan sistem aerobik mempunyai kelebihan yaitu lumpur yang dihasilkan dari IPAL lebih sedikit dan lumpur yang terbentuk dikembalikan ke bak aerasi. Dengan adanya aktivitas mikroba aerobik yang menguraikan zat organik pada air limbah dapat mengatasi kendala yang terdapat pada proses kimia. Efisiensi dari masing-masing sistem pengolahan air limbah yaitu *Activated Sludge* dan *Trickling Filter* (Feng, et al., 2008).

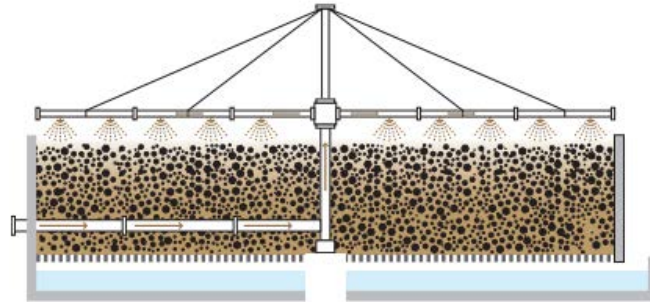
- *Activated Sludge* merupakan rangkaian bak reaktor yang menggunakan mikroorganisme aerobik dalam menguraikan zat organik pada air limbah. Untuk memelihara kondisi aerobik dan biomassa aktif harus konstan, maka perlu penyediaan oksigen yang tepat. Efisiensi dari fasilitas pengolahan hanya cocok pada sistem terpusat dan manajemen dengan pasokan listrik yang konstan. Kelebihan dari sistem ini dapat menurunkan BOD dan patogen sampai 99%, punya ketahanan yang baik terhadap beban yang diterima.



Gambar 2.2 *Activated Sludge* (lumpur aktif) (Tilley et al., 2010)

- *Trickling Filter* merupakan proses pengolahan dengan cara menyebarkan air limbah ke dalam suatu media yang biasanya terdiri dari batu krikil, atau media berbahan plastik. Dengan begitu lapisan tetap memfilter biologis pada keadaan aerobik. Permukaan pada media akan tumbuh lapisan biologis (*biofilm*) seperti lendir. Masalah yang terjadi pada proses *trickling filter* adalah sering timbul lalat dan bau yang berasal dari reaktor. Efisiensi

dari pengolahan *trickling filter* yaitu untuk *trickling filter* standar sekitar 90-95%, Sedangkan untuk *trickling filter high rate* sekitar 80% (Tilley et al., 2008).



Gambar 2.3 *Trickling Filter*. (Tilley et al., 2010)

Efisiensi dari proses IPAL komunal untuk kasus di Indonesia, sementara ini hasil dari operasi dan pemeliharannya cukup baik. Faktor dari pembangunan kota biasanya berpengaruh pada kualitas air limbah dari IPAL komunal. Sehingga untuk menurunkan tingkat BOD dan TSS masih belum maksimal dan pengontrolan pada proses pengolahan air limbah termasuk bak *imhoff tank* dan bak *anaerobic biofilter* minimal 2 kali setahun agar diketahui hal-hal yang bermasalah dan dapat diperbaiki kondisi sekitar IPAL Komunal (Selintung, 2006).

2.3 Biofilter Aerobik

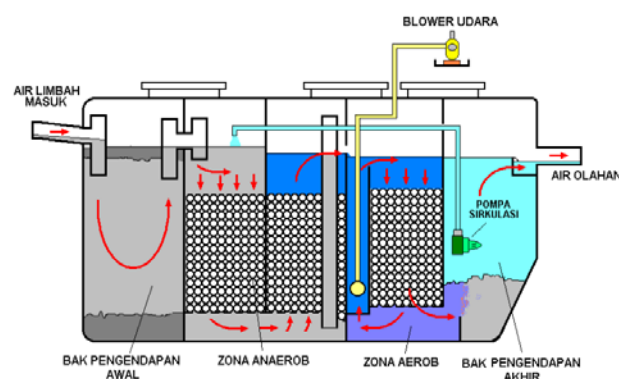
Biofilm merupakan lapisan tipis yang tersusun di dalam suatu sekumpulan mikroorganisme yang dapat tumbuh pada permukaan media (Agustina, 2016). Struktur biofilm dalam mikroba yang melekat pada sebuah media filtrasi terbukti menjadi elemen penting untuk mengurangi penurunan efisiensi dalam pengolahan air limbah (Naz et al., 2015). Pengolahan air limbah dengan proses biofilm salah satu cara pengolahan dengan biakan melekat. Suatu sistem biofilm terdiri dari media penyangga dalam lapisan biofilm dan energi yang dihasilkan akan diubah menjadi biomassa. Sehingga suplai oksigen pada lapisan biofilm dapat dilakukan dengan beberapa cara yaitu RBC sedangkan pada sistem biofilter tercelup menggunakan blower udara atau pompa sirkulasi (Said, 2000).

Proses biofilter pada pengolahan air limbah dilakukan dengan cara mengalirkan air limbah ke dalam sistem reaktor biologis yang telah diisi dengan

media penyangga agar terjadi perkembangan biak mikroorganisme tanpa aerasi. Proses biofilter aerobik yaitu suplai udara yang dilakukan dengan berbagai cara seperti sistem aerasi, tetapi sistem aerasi juga tergantung pada jenis media yang digunakan agar efisiensi yang diharapkan bisa baik. Prinsip biofilter yang baik adalah memiliki struktur menyerupai saringan tersusun dari suatu media penyangga dan biasanya diatur secara teratur maupun acak (Herlambang dan Marsidi, 2003).

Proses biofilter secara garis besar terdapat dua macam yaitu biofilter anaerob dan aerobik. Pengolahan keduanya dengan cara menggabungkan proses biofilter anaerob dan aerob dimana hanya dapat menurunkan polutan organik (BOD, COD,) dan padatan tersuspensi (TSS). Proses biofilter anaerob polutan organik yang masih tersisa dan terurai menjadi gas karbon dioksida (CO_2) dan air (H_2O), amoniak akan teroksidasi menjadi nitrit selanjutnya akan menjadi nitrat sedangkan gas diubah menjadi sulfat (Singh, 2009).

Keunggulan dari proses *biofilm* pada pengolahan air limbah yaitu pengoperasiannya mudah, lumpur yang dihasilkan sedikit, dapat digunakan untuk pengolahan air limbah dengan konsentrasi rendah maupun konsentrasi tinggi, tahan terhadap fluktuasi jumlah air limbah maupun fluktuasi konsentrasi, dan pengaruh pada penurunan suhu terhadap efisiensi pengolahan kecil (Yang et al., 2001).



Gambar 2.4 Proses Biofilter dengan Anaerobik dan aerobik (Tilley et al., 2010)

2.4 Media Biofilter

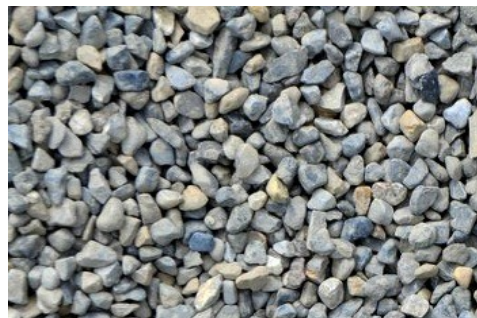
Media biofilter yang digunakan secara umum dapat berupa bahan material organik atau bahan material anorganik. Bahan material organik yang sering digunakan yaitu berbentuk tali, berbentuk jaring, berbentuk butiran dan berbentuk sarang tawon. Sedangkan untuk media dari bahan anorganik seperti batu marmer, batu tembikar, kerikil dan spons (Said, 2008).

Kriteria pemilihan media biofilter yang perlu di perhatikan yaitu tahannya terhadap penyumbatan dan fleksibilitas. Apabila penyumbatan pada media tidak sama maka akan terjadi masalah dalam mengalirkan aliran air limbah karena penyumbatan adalah masalah serius dalam sistem biofilter. Oleh karena itu, media yang dipilih harus mempunyai fraksi volume rongga yang baik. Sedangkan jika media biofilter yang digunakan tidak fleksibel, maka media tersebut akan susah untuk dimasuk kedalam reaktor (Azizah, 2011).

Jenis-jenis media biofilter yang dipakai bermacam yaitu batuan dan krikil, *random dumped*, media terstruktur. Masing-masing jenis mempunyai perbandingan efektivitas yaitu:

- Batuan dan krikil

Media yang baik untuk biofilter tercelup ataupun untuk trickling filter. Salah satu kelemahan media ini mempunyai fraksi volume rongga yang rendah dan berat. Walaupun media krikil dan batuan mempunyai luas permukaan yang besar, tetapi hanya sebagian kecil fraksi permukaan are dapat tumbuh bakteri aerobik. Media krikil kurang cocok untuk digunakan pada media biofilter skala komersial.



Gambar 2.5 Media Batuan *sumber: aquaponik.com*

- *Random* atau *dumped*

Jenis media yang modelnya bermacam-macam dan mempunyai luas permukaan yang spesifik. Jenis media ini dimasukkan secara acak ke dalam reaktor sehingga dinamakan *random packing*. Media ini mempunyai fraksi rongga yang baik dan relatif tahan terhadap penyumbatan dibandingkan batuan dan krikil. Kekurangan dari media ini kekuatan mekaniknya relatif kecil dan harganya relatif mahal.



Gambar 2.6 Random Packing sumber: Azizah, 2011

- Media terstruktur atau sarang tawon

Media ini semua karakteristiknya ideal dan sudah 25 tahun digunakan untuk pengolahan air buangan rumah tangga maupun air limbah industri. Jenis struktur media ini dari bahan plastik tipe sarang tawon, luas permukaan spesifiknya sekitar $150\text{-}220\text{ m}^2/\text{m}^3$, porositasnya 98% (Azizah, 2011).



Sumber: Azizah, 2011

Gambar 2.7 Media terstruktur atau sarang tawon

2.5 *Down-flow Hanging Sponge (DHS)*

Teknologi *down flow Hanging Sponge* (DHS) reaktor yang dikembangkan oleh Prof. Harada di Universitas Teknologi Nagaoka, Jepang merupakan salah satu teknologi pengolahan limbah yang cukup atraktif. Selain efektif dalam penyisihan bahan organik teknologi ini juga membutuhkan energi listrik yang rendah. Prinsip sistem reaktor DHS ini adalah penggunaan media spons poliuretan sebagai media mempertahankan biomassa dengan konsep yang agak mirip dengan *trickling filter* (Tandukar et al., 2006).

Kinerja pada sistem DHS untuk pengolahan air limbah memiliki rentang waktu selama 6 bulan dengan suhu air limbah rata-rata 15 C°. Selain itu, penelitian yang pernah dilakukan skala besar dengan laju alir 50 m³/hari menunjukkan kebutuhan energi yang dibutuhkan dan produksi lumpur pada skala besar tersebut lebih rendah daripada *activated sludge* (Tanaka et al., 2012). Sistem reaktor DHS ini mempunyai performa tinggi dibandingkan dengan proses lumpur aktif, dimana air limbah yang dialirkan pada reaktor berguna untuk mengurangi senyawa organik dan mengoksidasi amonia dan nitrit di dalam sistem reaktor DHS (Kubota et al., 2013).

Kelebihan dari sistem DHS yaitu luas permukaan media mencapai 2.400 m³/m², medianya dapat memiliki porositas 97% dan sangat berperan sebagai media penyerap padatan (Tawfik et al., 2008). Sistem DHS memberikan waktu yang cukup untuk proses lumpur didalam sistem, menghasilkan kualitas effluent dengan senyawa organik dan penghilang nitrogen, tidak membutuhkan aerasi dan produksi lumpur rendah (Tandukar et al., 2003).

2.6 *Media Polyurethane Sponge*

Media spons digunakan untuk penghalang atau media yang selektif karena media spons hanya dapat melewatkan komponen tertentu, sementara yang lain akan didalam media. Spons berfungsi sebagai media filter dan tempat hidup mikroorganisme. Dikarenakan porositas yang dimiliki spons tinggi dan membantu dalam perkembangbiakan mikroorganisme dan bahan organik. Media spons memiliki rasio sebesar 90%, sehingga sangat bagus untuk pertumbuhan dan

keterikatan biomassa aktif. Spons tidak hanya mengurangi konsentrasi pencemar tetapi dapat mempertahankan keseimbangan mikroorganisme yang tersuspensi di dalam bioreaktor (Tandukar et al., 2005).

Spons digunakan dalam biofilter karena dapat mengurangi akumulasi pada lapisan permukaan membran dan mempertahankan biomassa dengan pertumbuhan terikat. Pada pertumbuhan biomassa pada permukaan spons dan lapisan akan berdampak pada penghapusan nitrogen, akan tetapi pangaruh ukuran dan jenis dapat berdampak pada kinerja sistem biologis (Alsahy et al., 2018). Efek dari spons ternyata media spons mempunyai luas permukaan $256 \text{ m}^2/\text{m}^3$, porositasnya 90%, baik untuk distribusi air limbah yang di alirkan (A.Tawfik, 2010). Media spons merupakan absorben yang memiliki struktur pori-pori yang halus. Media filter ini digunakan karena harganya ekonomis. Keuntungan media ini mudah dicuci dan dapat digunakan berulang kali (Pujiarti, 2014).



Gambar 2.8 Media Spons

2.7 Parameter

Karakteristik air limbah domestik dapat dibagi menjadi karakteristik fisik, kimia dan biologi (Metcalf & Eddy, 2003). Dalam penelitian ini parameter yang akan dilakukan pengujian yaitu parameter:

- a. BOD (*Biochemical Oxygen Demand*)

BOD atau (*Biochemical Oxygen Demand*) merupakan jumlah oksigen terlarut yang diperlukan oleh mikroorganisme untuk mengancurkan bahan organik pada waktu tertentu. Penguraian zat-zat organik terjadi secara alami dan bakteri-

bakteri dari hasil penguraian bahan organik dibantu oleh oksigen. Pemeriksaan BOD tersebut dianggap sebagai suatu prosedur oksidasi dimana organisme hidup bertindak sebagai medium untuk menguraikan bahan organik menjadi CO₂ dan H₂O. Karenanya selama pemeriksaan BOD, suhu harus diusahakan konstan pada 20°C yang merupakan suhu yang umum di alam. Secara teoritis, waktu yang diperlukan untuk proses oksidasi yang sempurna sehingga bahan organik terurai menjadi CO₂ dan H₂O adalah tidak terbatas (Salmin, 2005).

b. Amonia (NH₃)

Amonia (NH₃) merupakan senyawa nitrogen yang menjadi NH₄⁺ pada pH rendah yang disebut dengan ammonium. Amonia dalam air permukaan berasal dari air seni, tinja serta penguraian zat organik secara mikrobiologis yang berasal dari air alam atau air buangan industri ataupun limbah domestik. Konsentrasi amoniak dapat berubah-ubah sepanjang tahun.

Amonia dapat menyebabkan kondisi toksik bagi kehidupan perairan. Konsentrasi tersebut tergantung dari pH dan temperatur yang mempengaruhi air. Nitrogen amonia berada dalam air sebagai amonium (NH₄⁺) berdasarkan reaksi kesetimbangan sebagai berikut : $\text{NH}_3 + \text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{NH}_4^+ + \text{OH}^-$. Kadar amonia bebas dalam air meningkat sejalan dengan meningkatnya pH dan temperatur. Kehidupan air terpengaruh oleh amonia pada konsentrasi 1 mg/l dan dapat menyebabkan ikan mati lemas karena dapat mengurangi kapasitas oksigen dalam air (Herlambang dan Marsidi, 2003).

2.8 Penelitian Terdahulu

Aplikasi terhadap kinerja biofilter sebagai *post-treatment* unit sudah pernah dilakukan pada waktu dan lokasi yang berbeda. Aplikasi dilakukan dari berbagai aspek baik ekonomi, teknis dan budaya. Beberapa penelitian terdahulu yang merujuk pada kesamaan penelitian dan dijadikan sebuah acuan dapat dilihat pada **tabel 2.4** berikut ini:

Tabel 2.4 Penelitian Terdahulu

No	Refrensi	Judul	Metoda	Hasil
1.	Tawfik et al., 2006	<i>Sewage treatment in a combined up-flow anaerobic sludge blanket (UASB) Down-flow hanging sponge (DHS) system</i>	Mengevaluasi kombinasi kinerja UASB pada sistem DHS dengan media <i>Sponge</i> untuk melihat efisiensi dari penurunan kadar COD, BOD, Amonia dan Coliform	Setelah dilakukan gabungan sistem UASB-DHS terlihat solusi yang baik karena sistem kedua ini dapat biaya yang rendah dan efisiensi dari sistem ini pada kadar COD yaitu 90%, BOD5 98%, TSS 94%, Amonia 86% dan F. Coliform 99,92%.
2.	Almeida et al., 2013	<i>Performance of plastic and sponge based trickling filters treating effluents from an UASB reactor</i>	Membandingkan kinerja dari trickling filters atau TR-Rotosponge dengan reaktor UASB untuk penurunan nitrogen total dan penurunan bahan organik	Faktanya bahwa padatan organik dari UASB yang dikombinasi dengan TF-Rotosponge mencapai konsentrasi TSS, BOD, dan COD yang rendah dan TF-Rotosponge pada penurunan total-N dan bahan organik mencapai signifikan lebih besar.

3.	Wichitsathian, 2010	<i>Quantification of organic dan nitrogen removal in downflow hanging sponge (DHS) system as a post-treatment of UASB effluent</i>	Untuk menganalisa sifat dan komposisi organik dalam proses kedua sistem down-flow hanging sponge (DHS) menggunakan bakteri untuk proses sistem UASB.	Hasil dari sistem menunjukkan bahwa fungsi DHS terjadinya keseimbangan COD dan massa nitrogen karena banyak mengkonsumsi aerobik dan denitrifikasi yang baik.
4.	Machdarr et al., 1997	A novel cost-effective sawega treatment system consisting of UASB pre-treatment and aerobic post-treatment units for developing countries	Mengetahui kinerja dari kelayakan sistem unit proses awal DASB dengan diikuti oleh sistem DHS atau biasa disebut sistem gabungan untuk pengolahan limbah	Kinerja dari sistem ini yaitu dapat menurunkan organik yang sangat baik dengan mencapai 94% dan 81% COD. Sehingga sistem unit DHS dapat berfungsi untuk pembuangan sisa organik tetapi menghilangkan nitrogen.