
PENGOLAHAN AIR LIMBAH *LAUNDRY* MENGGUNAKAN PROSES BIOREAKTOR *DOWN-FLOW HANGING SPONGE*

Kyky Fadhila Cindya Putri, Aulia Ulfah Farahdiba dan Munawar Ali

Program Studi Teknik Lingkungan, Universitas Pembangunan Nasional Veteran Jawa Timur

Email: auliulfah.tl@upnjatim.ac.id

ABSTRAK

Melihat banyaknya usaha *laundry* di Surabaya yang kebanyakan dari mereka membuang air hasil olahannya langsung ke badan air. Hal tersebut membuat dampak negatif terhadap perairan yang ada di Surabaya. Hal tersebut berdampak negatif terhadap perairan. Untuk mengurangi dampak tersebut, perlu dilakukan pengolahan air limbah *laundry* terlebih dahulu sebelum dibuang ke badan air. Salah satu pengolahan yang cocok bagi pengusaha *laundry* yaitu *downflow hanging sponge* (DHS). Tujuan dari penelitian ini dilakukan untuk mengetahui efektivitas pengolahan limbah *laundry* dalam menurunkan kadar pencemar menggunakan DHS sehingga memenuhi baku mutu. Berdasarkan hasil penelitian ini menunjukkan bahwa media spons selulosa paling optimum dengan variasi HRT 3 jam dalam menurunkan COD dengan kisaran 62-90%, BOD dengan kisaran 56-82%, TSS dengan kisaran 80-92%, Fosfat dengan kisaran 21-72%, lalu MBAS dengan kisaran 27-76%.

Kata kunci: *Downflow hanging sponge (DHS), Air Limbah Laundry, Biofilter*

ABSTRACT

Seeing the many laundry businesses in Surabaya, most of them throw their processed water directly into water bodies. This has a negative impact on the waters in Surabaya. This has a negative impact on the waters. To reduce this impact, it is necessary to treat laundry wastewater first before being discharged into water bodies. One of the suitable processing for laundry entrepreneurs is downflow hanging sponge (DHS). The purpose of this study was to determine the effectiveness of laundry waste treatment in reducing pollutant levels using DHS so that it meets quality standards. Based on the results of this study indicate that the most optimum cellulose spon media with a 3-hour HRT variation in reducing COD in the range of 62-90%, BOD in the range of 56-82%, TSS in the range of 80-92%, Phosphate in the range of 21-72%, then MBAS with a range of 27-76%.

Keywords: *Downflow hanging sponge (DHS), Laundry Wastewater, Biofilter*

PENDAHULUAN

Seiring perkembangan zaman yang cukup pesat mempengaruhi penambahan jumlah penduduk. Salah satu kota yang memiliki perkembangan yang cukup pesat adalah Surabaya. Surabaya merupakan salah satu kota metropolitan terbesar di Indonesia. Banyaknya masyarakat di Surabaya menghabiskan waktunya untuk bekerja ataupun aktivitas lainnya, sehingga masyarakat tidak sempat mencuci pakaiannya sendiri. Karena kesibukan masyarakat Surabaya inilah, dimanfaatkan oleh beberapa orang untuk membuka usaha *laundry*. Maraknya usaha *laundry* tersebut tidak diiringi dengan pengolahan air limbah sehingga air hasil produksi *laundry* langsung dibuang ke badan air. Hal tersebut berdampak negatif terhadap perairan karena adanya pencemar limbah cair sehingga mengakibatkan kekeruhan, menghambat transfer oksigen dan menghalangi sinar matahari masuk ke dalam air. Untuk mengurangi dampak tersebut, perlu dilakukan pengolahan air limbah *laundry* terlebih dahulu sebelum dibuang ke badan air. Karena limbah *laundry* merupakan bahan *biodegradable* sehingga dalam pengolahannya sangat cocok menggunakan proses biologi. Salah satu pengolahan biologi yang cocok adalah menggunakan *Downflow hanging sponge* (DHS).

Reaktor DHS direkomendasikan sebagai teknologi yang efisien dan hemat biaya (Mahmoud dkk, 2011). Selain itu sistem reaktor DHS memiliki performa tinggi dalam memproses lumpur aktif yang dicapai dengan stratifikasi mikroba yang berguna untuk mengurangi senyawa organik (Kubota dkk, 2013). Salah satu keuntungan utama dari sistem DHS adalah bahwa meskipun sistem pengolahan aerobik, namun tidak ada aerasi eksternal diperlukan (Tandukar dkk, 2006). Hal tersebut cocok untuk diaplikasikan untuk pengusaha *laundry*.

Prinsip kerja sistem DHS hampir sama dengan sistem *trickling filter*. Media *filter* yang digunakan adalah dengan menggunakan rangkaian spons yang terbuat dari bahan poliuretan yang disusun secara seri sebagai media untuk menahan mikroba biomassa. Sesuai dengan namanya, sistem ini bekerja dengan prinsip *down-flow*, dimana air limbah

dialirkan dari bagian atas reaktor, kemudian terolah oleh mikroorganisme yang terdapat atau tumbuh di permukaan media spons pada saat air limbah tersebut mengalir melewati reaktor. Karena spons dalam reaktor DHS menggantung secara bebas di udara, oksigen dapat terlarut secara alami ke dalam air limbah ketika air mengalir ke bawah melewati reaktor, sehingga sistem ini tidak membutuhkan aerasi atau *input* energi lainnya. Selain itu, reaktor DHS dapat menjadi penyokong tempat kehidupan biomassa, baik di dalam spons maupun di bagian permukaan. Hal ini tentu akan mengurangi jumlah lumpur yang dihasilkan pada akhir pengolahan (Hatamoto dkk, 2018)

METODE PENELITIAN

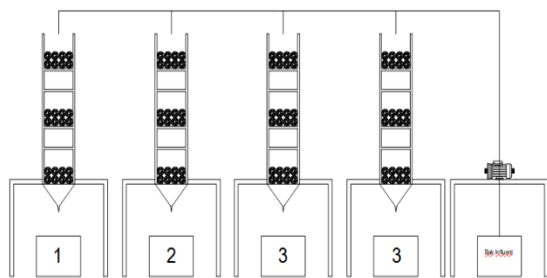
Air limbah *laundry* yang digunakan adalah limbah *laundry* dari salah satu usaha *laundry* di kelurahan Kedurus, Karangpilang Surabaya. Air limbah ini akan digunakan pada proses *seeding* aklimatisasi dan proses *running*. Analisis awal digunakan untuk mengetahui kandungan polutan pada limbah *laundry*, yang kemudian dibandingkan dengan baku mutu PERGUBJATIM Nomor 72 tahun 2013 untuk melihat apakah nilai polutan air limbah sudah melebihi baku mutu yang berlaku. Analisis kualitas meliputi pH, TSS, BOD, COD, surfaktan, fosfat.

Pada perencanaan awal, digunakan bak penampung air limbah sebagai wadah sebelum dialirkan ke reaktor. Kemudian air limbah akan di pompa menuju bagian atas reaktor DHS yang kemudian air akan mengalir secara *downflow* dan berakhir di bak *effluent*. Dalam penelitian ini, *seeding* dilakukan secara alami dengan cara mengalirkan air limbah *laundry* secara berulang-ulang ke dalam media reaktor DHS. Menurut Tandukar dkk, (2005), penggunaan reaktor DHS tidak memerlukan inokulan khusus sebagai starter atau dengan menggunakan unit spons yang bersih.

Seeding dilakukan selama 3 minggu dengan mengalirkan air dari bak penampung menggunakan pompa menuju bagian atas reaktor, kemudian air mengalir hingga ke bawah reaktor. Setelah itu, air akan keluar menuju bak *effluent*. Setiap 3 hari sekali akan dilakukan pengujian COD dan pengecekan secara visual untuk memastikan apakah mikroorganisme di dalam reaktor telah tumbuh.

Jika dirasa mikroorganisme telah tumbuh, maka tahap selanjutnya yaitu aklimatisasi.

Tahap selanjutnya dilakukan aklimatisasi yang bertujuan untuk didapatkannya kultur mikroorganisme yang stabil dan dapat beradaptasi dengan limbah cair yang diujikan. Aklimatisasi dijalankan selama seminggu menggunakan air limbah laundry dan setiap 3 hari sekali dilakukan pengujian COD untuk mengetahui apakah mikroorganisme di dalam reaktor sudah mengalami *steady state*. Kondisi *steady state* adalah kondisi dimana penyisihan zat organik yang terremoval oleh mikroorganisme mendekati angka yang stabil atau konstan. Jika dirasa mikroorganisme sudah dalam *steady state* maka dilanjutkan ke tahap *running*.



Gambar 1: Rangkaian *Downflow hanging sponge*

Proses *running* dilakukan setelah mikroorganisme telah mengalami *steady state*. Telah disiapkan 4 reaktor dengan masing-masing variabel. Reaktor 1 berisi media poliuretan (A) dengan HRT 1 jam, reaktor 2 berisi media poliuretan (A) dengan HRT 3 jam, reaktor 3 berisi media selulosa (B) dengan HRT 1 jam, reaktor 4 berisi media selulosa (B) HRT dengan 3 jam. Sebelum dilakukan *running*, terlebih dahulu dilakukan percobaan pengukuran kecepatan air masuk ke dalam masing-masing reaktor untuk mencari debit yang dimau yaitu: reaktor 1 dan 3 adalah 166,7 mL/menit; reaktor 2 dan 4 adalah 55,5mL/menit. Setelah menemukan posisi pembukaan valve yang pas, dilakukan pengaliran air limbah secara *downflow* pada masing-masing reaktor menggunakan pompa secara *batch*. Jika air limbah sudah terkumpul dalam bak effluent, dilakukan sampling dengan mengujikan parameter COD, BOD, TSS, Fosfat, MBAS dan pH.

Setelah *running* selesai dilakukan analisis data dengan mencari persen *removal* dari nilai influen dan effluen air limbah yang kemudian dibandingkan setiap variabel untuk mencari variabel HRT terbaik dalam mengolah air limbah laundry di reaktor *downflow hanging sponge*. Setelah menemukan variabel HRT terbaik, langkah selanjutnya yaitu membandingkan dengan variabel jenis spons untuk mencari jenis spons yang terbaik dalam mengolah air limbah di reaktor *downflow hanging sponge*.

HASIL DAN PEMBAHASAN

A. Seeding dan Aklimatisasi

Proses *seeding* dan aklimatisasi sendiri memiliki tujuan untuk mendapatkan biofilm dalam kondisi yang *steady state*. Kondisi *steady state* adalah kondisi dimana penyisihan zat organik yang terremoval oleh mikroorganisme mendekati angka yang stabil atau konstan. Berikut merupakan tabel penyisihan COD selama proses *seeding* dan aklimatisasi berlangsung, dapat dilihat pada Tabel 1.

Tabel 1: Hasil Analisa COD Selama *Seeding* dan Aklimatisasi

Seeding dan Aklimatisasi			
Hari Ke	In	Ef	% Removal
3	583,2	316,8	45,68%
6	583,2	288	50,62%
9	583,2	187,2	67,90%
12	1288,2	597,2	53,64%
15	1288,2	482,4	62,55%
18	561,6	208,8	62,82%
21	561,6	180	67,95%
24	561,6	129,6	76,92%

Berdasarkan hasil analisa sebagaimana pada Tabel 1, dapat diketahui bahwa penyisihan COD pada hari ke 3 *seeding* memiliki persentase sebesar 45,68% lalu mengalami kenaikan pada hari ke 9 sebesar 67,9% akan tetapi pada penglihatan visual, media masih belum terdapat lapisan biofilm sehingga pada hari ke 12, air limbah ditambahkan lumpur bosam sebagai nutrient. Penambahan tersebut membuat penurunan nilai efisiensi penyisihan sebesar 14,26%.

Pada hari ke 15, pengamatan visual mendapatkan bahwa media telah tumbuh selaput bening dan saat dipegang terasa licin, hal tersebut menandakan bahwa lapisan biofilm pada media telah terbentuk. Pada hari ke 18 dilihat bahwa lapisan biofilm mulai menebal sehingga dirasa mikroorganisme dapat menerima air limbah yang akan diolah, namun sebelum itu dilakukan tahap aklimatisasi dengan tujuan agar mikroorganisme dapat beradaptasi. Setelah beberapa hari dilakukan pengujian COD, nilai uji COD mengalami kenaikan yang stabil yang perbedaannya tidak lebih dari 10% sehingga dapat dikatakan bahwa mikroorganisme sudah dalam kondisi *steady state*.

B. Penurunan Konsentrasi Pencemar Air Limbah Laundry terhadap Variasi Waktu Tinggal

Setelah melakukan *seeding* dan aklimatisasi, dilanjutkan pada tahanan penelitian utama. Terdapat 4 reaktor yang sudah disediakan dengan berbeda-beda variabel. Reaktor 1 berisi media A dengan HRT 1 jam, reaktor 2 berisi media A dengan HRT 3 jam, reaktor 3 berisi media B dengan HRT 1 jam, reaktor 4 berisi media B dengan HRT 3 jam. Kemudian dilakukan pengaliran air limbah secara *downflow* pada masing-masing reaktor menggunakan pompa secara *batch*. Jika air limbah sudah terkumpul dalam bak effluent, dilakukan sampling dengan mengujikan parameter COD, BOD, TSS, Fosfat, MBAS dan pH. Hasil uji masing-masing parameter di analisa, tujuannya adalah mencari HRT yang efektif saat mengolah air limbah. Berikut merupakan tabel penyisihan parameter selama proses *running* berlangsung, dapat dilihat pada Tabel 2 dan Tabel 3.

Tabel 2: Hasil Analisa Parameter Media A Selama Proses *Running*

Media A						
HRT	Hari Ke-	BOD	COD	TSS	Fosfat	MBAS
1 jam	5	50,00%	58,57%	70,00%	21,97%	24,28%
	10	64,86%	63,86%	75,00%	20,98%	48,26%
	15	63,33%	70,42%	70,00%	26,07%	56,04%
	20	71,43%	75,82%	81,82%	42,70%	71,54%
	25	79,41%	81,20%	85,71%	65,47%	50,91%
	30	72,97%	78,79%	92,86%	59,44%	58,01%

3 jam	5	59,38%	64,29%	80,00%	22,65%	28,40%
	10	75,68%	71,08%	83,33%	25,77%	48,26%
	15	76,67%	78,87%	80,00%	29,93%	65,92%
	20	77,14%	84,62%	90,91%	43,54%	77,86%
	25	85,29%	88,89%	92,86%	68,69%	60,64%
	30	78,38%	85,86%	92,86%	66,40%	61,93%

Tabel 3: Hasil Analisa Parameter Media B Selama Proses *Running*

Media B						
HRT	Hari Ke-	BOD	COD	TSS	Fosfat	MBAS
1 jam	5	40,63%	57,14%	70,00%	20,53%	24,69%
	10	51,35%	75,90%	75,00%	24,88%	45,49%
	15	63,33%	73,24%	80,00%	25,24%	61,66%
	20	74,29%	78,02%	81,82%	41,39%	72,94%
	25	76,47%	82,05%	78,57%	69,05%	62,78%
	30	70,27%	78,79%	92,86%	61,78%	49,55%
3 jam	5	56,25%	62,86%	80,00%	21,36%	27,98%
	10	64,86%	81,93%	83,33%	33,82%	52,08%
	15	70,00%	84,51%	90,00%	36,69%	68,93%
	20	80,00%	86,81%	90,91%	47,25%	76,97%
	25	82,35%	90,60%	85,71%	72,09%	63,32%
	30	72,97%	86,87%	92,86%	64,30%	60,42%

Dalam mengetahui variabel HRT mana yang efektif dalam mengolah air limbah laundry menggunakan DHS, perlu dilakukan Uji Statistik ANOVA *One-Way* untuk mencari nilai variabel terbaik berdasarkan nilai mean. Uji ANOVA *One Way* Media A dapat dilihat pada Gambar 2 dan Uji ANOVA *One-Way* Media B dapat dilihat pada Gambar 3.

Means

HRT	N	Mean	StDev	95% CI
1	5	0.6172	0.1605	(0.4423, 0.7922)
3	5	0.6820	0.1784	(0.5070, 0.8570)

Pooled StDev = 0.169678

Gambar 2: Analysis of variance antara efisiensi *removal* dengan HRT pada Media A

Means

HRT	N	Mean	StDev	95% CI
1	5	0.6199	0.1589	(0.4502, 0.7896)
3	5	0.6893	0.1700	(0.5196, 0.8591)

Pooled StDev = 0.164555

Gambar 3: Analysis of variance antara efisiensi *removal* dengan HRT pada Media B

Dari hasil interpretasi *output* ANOVA One-Way diperoleh pula *mean* terbesarnya pada media A = 0,682 dan media B = 0,6893 yang dihasilkan oleh HRT 3 jam, artinya HRT terbaik dalam mengolah air limbah *laundry* pada Media A dan Media B yaitu menggunakan HRT 3 jam. Hal tersebut terjadi karena semakin lama waktu tinggal cairan maka semakin lama pula air limbah berada di dalam sistem, akibatnya waktu kontak antara biomassa dalam reaktor dengan substrat juga semakin lama. Dengan demikian proses degradasi berlangsung semakin baik, sehingga persentase penurunan juga meningkat. Teori tersebut sejalan dengan yang dikemukakan oleh Nurmiyanto dkk (2019) HRT adalah waktu yang dibutuhkan oleh air limbah untuk mengalir melalui reaktor DHS. Air limbah sangat penting untuk tetap berada di dalam reaktor dan bersentuhan dengan mikroba yang menempel pada media (spons). Semakin lama air limbah tetap berada di reaktor dalam kontak dengan mikroba maka semakin besar efisiensi penyisihan organik.

C. Analisa Jenis Media terhadap Efisiensi Removal Parameter Pencemar Air Limbah Laundry.

Analisis yang dilakukan adalah membandingkan efisiensi *removal* dari parameter air limbah *laundry* dengan variasi jenis media yang sudah ditetapkan yaitu spons poliuretan dan spons selulosa. Tujuannya adalah mencari jenis media spons terbaik saat mengolah air limbah. Hasil efisiensi *removal* pada analisa sebelumnya menyebutkan bahwa untuk media A dan media B memiliki nilai efisiensi *removal* tertinggi pada variasi variabel HRT 3 jam.

Tabel 4: Hasil Analisa Parameter Media A dan Media B Selama Proses *Running* dengan HRT 3 jam

Parameter	Media A	Media B
BOD	75,42%	71,07%
COD	78,93%	82,26%
TSS	86,66%	87,14%
Fosfat	42,83%	45,92%
MBAS	57,17%	58,28%

Dalam mengetahui jenis media mana yang terbaik dalam mengolah air limbah *laundry* menggunakan DHS, perlu dilakukan Uji Statistik ANOVA One-Way untuk mencari

nilai variabel terbaik berdasarkan nilai mean. Uji ANOVA One Way pada Gambar 4.

Means

Media	N	Mean	StDev	95% CI
A	5	0.6820	0.1784	(0.5023, 0.8618)
B	5	0.6893	0.1700	(0.5096, 0.8691)

Pooled StDev = 0.174283

Gambar 3: *Analysis of variance* antara efisiensi *removal* dengan media

Dari hasil interpretasi *output* ANOVA One-Way diperoleh nilai *mean* terbesarnya adalah 0,6893 yang dihasilkan oleh media B. Artinya media terbaik dalam mengolah air limbah *laundry* yaitu menggunakan spons selulosa.. Hal tersebut terjadi karena spons selulosa memiliki daya serap terhadap air yang lebih tinggi dari pada spons poliuretan. Selain itu, spons selulosa memiliki area permukaan yang lebih besar dari pada spons poliuretan

Menurut sugeng (2017) spons selulosa dapat menyerap air berkisar antara 2500-2800% atau dapat dikatakan kemampuan penyerapan air 25-28 kali berat kering spons selulosa dalam keadaan kering. Disamping daya serap terhadap air tinggi, kekuatan tarik dalam keadaan basah juga lebih tinggi. Hal tersebut membuat spons selulosa lebih unggul dibanding dengan spons poliuretan. Selain itu, media B (spons selulosa) memiliki area permukaan yang lebih besar dari pada media A (spons poliuretan). Menurut Ariani (2018) Area permukaan yang luas dan berpori maksimum merupakan tempat yang cocok untuk media pertumbuhan mikroorganisme di dalam dan di luarnya. Luas permukaan yang tinggi berguna bagi mikroorganisme untuk berkoloni, yang memungkinkan mikroorganisme untuk mendegradasi beban pencemar lebih baik. Sedangkan menurut Nusa (2018) agar jumlah mikroorganisme dapat berkembang, diperlukan media biofilter yang dapat melekatkan mikroorganisme dalam jumlah yang besar. Biasanya untuk media biofilter dari bahan anaorganik, semakin luas permukaannya semakin besar, jumlah mikroorganisme yang dapat dibiakkan juga menjadi besar pula.

KESIMPULAN

Setelah dilakukan analisis menggunakan ANOVA One Way terhadap influen dan efluen air limbah *laundry* pada saat *running*, didapatkan efisiensi *removal* terbaik dengan HRT 3 jam dan jenis media spons selulosa. Kemudian setelah melakukan pengolahan air limbah *laundry* di reaktor *Down-flow Hanging Spons*, air limbah telah melampaui baku mutu air limbah *laundry* menurut Pergub Jatim No 72 Tahun 2013.

DAFTAR PUSTAKA

- Anders, Elliot. (2001). *A Chemical Study of Mill Creek: Biological Oxygen Demand, Septic Tanks, and Forest Fires*. Whitman College.
- Astuti, S.W., dan Sinaga, M.S. 2015. “Pengolahan Limbah *Laundry* menggunakan Metode Biosand Filter untuk Mendegradasi Fosfat”. *Jurnal Teknik Kimia USU*, Vol. 4, No. 2.
- Aufiyah, & Damayanti, A. 2013. Pengolahan Limbah *Laundry* Menggunakan Membran Silika Nanofiltrasi Aliran Cross Flow untuk Menurunkan Kekruhan dan Fosfat. *Jurnal Teknik POMITS* Vol. 2, No. 1 ISSN: 2337-3539, 2301-9271 Print.
- Hatamoto, Masashi, et al. Characterization of downflow hanging sponge reactors with regard to structure, process function, and microbial community compositions. *Applied microbiology and biotechnology* 102.24 (2018): 10345-10352.
- Husin, Amir. (2008). *Pengolahan Limbah Cair Industri Tahu dengan Biofiltrasi Anaerob dalam Reaktor Fixed-Bed*. Medan: Sekolah Pascasarjana Universitas Sumatera Utara.
- Machdar, Izarul. (2007). *Ammonia Removal Behaviour in the Downflow hanging sponge Bioreactor*. *Jurnal Purifikasi* (Vol. 8 No. 2 p:175-180).
- Machdar, Izarul, et al. "A pilot-scale study on a down-flow hanging spons reactor for septic tank sludge treatment." *Environmental Engineering Research* 23.2 (2018): 195-204.
- Metcalf & Eddy. (2003). *Wastewater Engineering, Treatment and Reuse (4th edition)*. New York: McGraw-Hill.
- Nguyen, Hiep Trung, et al. "A research on the performance of down-flow hanging spons (DHS) reactor treating domestic wastewater." *Vietnam Journal of Science and Technology* 56.4 (2018): 482.
- Nurmiyanto, A., & Ohashi, A. (2019). Downflow hanging sponge (DHS) reactor for wastewater treatment-a short review. In *MATEC web of conferences* (Vol. 280, p. 05004). EDP Sciences.
- Nurhadi. 2010. Evaluasi Kinerja Reaktor *Upflow Anaerobic Sludge Blanket* (UASB) dan *Downflow hanging sponge* (DHS) Dalam Mengolah Air Limbah Domestik: Kajian Terhadap Kualitas Air Waduk Setiabudi Jakarta Selatan. Tesis. Universitas Indonesia. Jakarta
- Peraturan Gubernur Jawa Timur. 2013. Baku Mutu Air Limbah bagi Industri dan/atau Kegiatan Usaha Lainnya. No. 72 tahun 2013. Surabaya.
- Rahmawati, A.A. dan R. Azizah. 2005. Perbedaan Kadar BOD, COD, TSS, dan MPN Coliform Pada Air Limbah, Sebelum dan Sesudah Pengolahan di RSUD Nganjuk. *Jurnal Kesehatan Lingkungan*, 2(1): 97-110.
- Said, N. I. (2018). Teknologi biofilter anaerob-aerob untuk pengolahan air limbah domestik. *Pros. Semin. Nas. dan Konsult. Teknol. Lingkung*, 99-108.
- Said, Nusa Idaman. (2005). *Aplikasi Bio-Ball Untuk Media Biofilter Studi Kasus pengolahan Air Limbah Pencucian Jean. Kelompok Teknologi Pengelolaan Air Bersih dan Limbah Cair*. Pusat Pengkajian dan Penerapan Teknologi Lingkungan (BPPT). Jakarta.
- Syutsubo, Kazuaki, and Akiyoshi Ohashi. "Unjuk Kerja Down-Flow Hanging Spons (DHS) Bioreaktor sebagai Secondary Treatment untuk Pengolahan Limbah Domestik." *Jurnal Litbang Industri Vol 7.1* (2017): 11-18.
- Tandukar, M., Uemura, S., Machdar, I., Ohashi, A., dan Harada, H. (2005). *A Low-cost Municipal Sewage Treatment System with a Combination of UASB and the “fourth-generation” Downflow hanging sponge Reactors*. (Vol 52 No. 12 p 323-329). *Jurnal Water Science and Technology*. IWA Publishing.

- Tjokrokusumo. (2001). *Pengantar Engineering Lingkungan*. Sekolah Tinggi Teknik Lingkungan. Yogyakarta.
- WPC. (1998). *O & M of Trickling Filters, RBCs, and Related Processes*. Water Pollution Control Federation, Virginia