

PEMANFAATAN KONSORSIUM MIKROBIA UNTUK MENINGKATKAN KINERJA SISTEM LUMPUR AKTIF

MICROBIAL CONSORSIUM UTILIZATION TO INCREASE ACTIVATED SLUDGE PERFORMANCE

Novarina Irnaning Handayani

Balai Besar Teknologi Pencegahan Pencemaran Industri
Jl. Ki Mangunsarkoro no. 6, Semarang
Email : nova.bbtppi@yahoo.com

Naskah diterima tanggal 5 Januari 2015, disetujui tanggal 8 April 2015

ABSTRACT

*The textile industries in a wastewater treatment plant using the system of physics, chemist, and biology. Biological systems that use activated sludge usually are sometimes impaired. The purpose of this research is to create a microbial consortium chosen which can raise the performance of the activated sludge being interrupted, indicated by the falling value of sludge in the reactor activated sludge volume and lower COD treated wastewater. Elect six (6) non-pathogenic bacterial species such as *Bacillus macerans*, *Bacillus subtilis*, *Bacillus thuringiensis*, *Bacillus sp.*, *Kurthia zopfii*, *Pseudomonas stutzeri* to be combined into a single consortium. The result of antagonism between the emergence of selected species showed no zone of inhibition, so that 6 (six) types of the bacteria can be combined into a single consortium. Laboratory test shows the nutrients in the form of a consortium added 25 grams of bran and 50 grams of sugar per liter of water with the achievement of the sludge volume 30 mins 85% and after deposited 24 hours was 35% with a reduction of COD 82% Tests advanced demonstrate that the consortium in 6 types of bacteria plus *Nitrobacter* and yeast sludge volume 30 min best reached 73% after deposited 24 hours to 32% with a decrease of COD reached 81%.*

Keywords: *microbial, activated sludge, sludge volume*

ABSTRAK

Industri tekstil sebagian besar menggunakan mengolah limbah cair pada instalasi pengolahan air limbah dengan menggunakan sistem fisika, kimia, dan biologi. Sistem biologi yang digunakan biasanya adalah lumpur aktif yang terkadang mengalami gangguan. Tujuan penelitian ini adalah membuat konsorsium mikrobial terpilih yang dapat menaikkan kinerja lumpur aktif yang sedang terganggu, diindikasikan dengan turunnya nilai *sludge volume* dalam reaktor lumpur aktif serta menurunkan COD air limbah terolah. Terpilih 6 (enam) jenis bakteri non patogen yaitu *Bacillus macerans*, *Bacillus subtilis*, *Bacillus thuringiensis*, *Bacillus sp*, *Kurthia zopfii*, dan *Pseudomonas stutzeri* untuk digabungkan dalam satu konsorsium. Hasil uji antagonisme antar species terpilih menunjukkan tidak munculnya zone penghambatan, sehingga 6 (enam) jenis bakteri tersebut dapat digabungkan menjadi satu kesatuan. Hasil uji coba laboratorium menunjukkan konsorsium yang ditambahkan nutrisi berupa 25 gr bekatul dan 50 gram gula per liter air dengan pencapaian *sludge volume* 30 menit 85% dan setelah diendapkan 24 jam adalah 35% dengan penurunan COD 82% Uji coba lanjutan menunjukkan bahwa konsorsium dalam 6 jenis bakteri ditambah *Nitrobacter* dan yeast *sludge volume* 30 menit terbaik mencapai 73% setelah diendapkan 24 jam menjadi 32% dengan penurunan COD mencapai 81%.

Kata kunci: mikrobial, lumpur aktif, *sludge volume*

PENDAHULUAN

Sebagian besar industri tekstil di Jawa Tengah menggunakan proses pengolahan air limbah secara biologi aerob berupa lumpur aktif atau *activated sludge*, baik sebagai proses utama maupun pelengkap proses fisika dan kimia. Kadangkala lumpur aktif mengalami permasalahan seperti terjadinya *rising sludge*, *Nocardia foam*, maupun *bulking sludge*. Kondisi ini harus segera diatasi salah satunya dengan menambahkan mikroorganisme yang mampu meningkatkan kinerja lumpur aktif.

Mikroorganisme yang terdapat dalam sistem biologi lumpur aktif meliputi protozoa, jamur dan bakteri. Bakteri yang merupakan mikroorganisme yang paling dominan. Bakteri yang berperan aktif adalah bakteri fakultatif, dimana jenis ini dapat hidup baik dalam keadaan oksigen terlarut tinggi maupun terbatas. Herlambang (2013) menyampaikan bahwa bakteri merupakan unsur utama dalam flok lumpur aktif. Lebih dari 300 jenis bakteri dapat ditemukan dalam lumpur aktif. Bakteri tersebut bertanggung jawab terhadap oksidasi material organik dan transformasi nutrisi, dan bakteri menghasilkan polisakarida dan material polimer yang membantu flokulasi biomassa mikrobiologi. Kemampuan bakteri dalam membentuk flok menentukan keberhasilan pengolahan limbah secara biologi. Karena akan memudahkan pemisahan partikel dan air limbah.

Menurut Waluyo (2005) bakteri merupakan produsen primer bahan organik dan pada kondisi tertentu mampu memecah senyawa organik dan juga dapat menghasilkan senyawa anorganik yang berguna untuk fiksasi nitrogen, nitrifikasi, denitrifikasi, oksidasi sulfur, dan reduksi sulfur. Laju dekomposisinya tergantung dari komponen dan kondisi lingkungan. Isolat mampu memanfaatkan bahan organik sebagai sumber karbon dan donor elektron untuk sintesis bahan sel dan menghasilkan energi untuk kelanjutan hidupnya. Bahan-bahan organik diubah oleh mikrobia menjadi senyawa dengan energi lebih rendah. Remineralisasi substrat organik merupakan proses utama bakteri dalam mengubah bahan-bahan dalam air dan seluruh proses degradasi berlangsung secara enzimatik.

Dalam penelitian sebelumnya, dari 3 (tiga) jenis lumpur aktif terpilih yang berasal dari proses produksi tekstil terpadu, terpadu tanpa printing, dan finishing terseleksi 7 (tujuh) jenis bakteri yang mendominasi yaitu *Bacillus macerans*, *Bacillus subtilis*, *Bacillus thuringiensis*, *Bacillus sp.*, *Kurthia zopfii*, *Pseudomonas stutzeri*, dan *Listeria ivanovii*. Hasil identifikasi ini sesuai dengan pernyataan

Wahyudi (1999) bahwa bakteri yang hampir selalu ada dalam berbagai jenis lumpur aktif adalah *Bacillus* dan *Pseudomonas*. Khusus *Listeria ivanovii* termasuk golongan bakteri patogen (Ariyanti, 2010), sehingga tidak dimasukkan dalam pembuatan konsorsium.

Bacillus macerans dapat membentuk spora yang memfermentasi heksosa, deoksiheksosa, pentosa, selulosa, dan hemiselulosa (Gupta *et al.* 2009). *Bacillus subtilis* merupakan bakteri pembusuk penghasil endospora yang memungkinkan untuk bertahan dalam kondisi panas dan kekeringan yang ekstrim (Alexander, 1977). *Bacillus thuringiensis* juga merupakan bakteri termofilik yang dapat bertahan pada suhu 45-70°C (Deacon, 2004). *Pseudomonas stutzeri* merupakan salah satu bakteri yang paling aktif dalam denitrifikasi. Bakteri ini ditumbuhkan dan didistribusikan dalam air limbah pada instalasi pengolahan air limbah untuk mengurai naftalena, mengoksidasi tiosulfat, klorobenzoat, dan sianida serta menguraikan surfaktan dengan berat molekul rendah dan polimer dengan berat molekul besar. *Kurthia zopfii* merupakan bakteri yang potensial untuk menguraikan bahan organik, terutama deterjen dalam limbah industri. (Wignyanto dkk, 2009).

Dalam rangka menjamin konsistensi dalam jumlah dan fungsinya untuk diinokulasikan dalam lumpur aktif yang sedang mengalami masalah, bakteri harus ditumbuhkan dan dikembangkan dalam suatu media cair yang mengandung nutrisi dan mampu mempertahankan kondisi bakteri sehingga masih tetap hidup dengan mempertahankan sifat-sifat genotip dan fenotipnya.

Penelitian ini bertujuan untuk mendapatkan konsorsium bakteri terpilih yang telah lolos uji antagonisme, mendapatkan komposisi media penyimpanan yang mengandung nutrisi yang optimum, mempunyai kemampuan hidup yang cukup baik serta dapat meningkatkan kinerja sistem pengolahan air limbah lumpur aktif.

METODOLOGI

Bakteri diisolasi dari lumpur aktif industri tekstil terpilih (*purposive sampling*) dengan performa yang baik. Pemilihan bakteri terseleksi dilakukan dengan mengisolasi dan mengidentifikasi jumlah bakteri yang terbanyak atau mendominasi dengan asumsi bahwa yang mendominasi berarti lebih mudah untuk hidup dan dikembangkan serta berperan besar dalam mendegradasi cemaran yang ada dan tidak menggunakan bakteri yang tergolong patogen. Untuk menghindari resiko antagonisme antar jenis bakteri yang

digabungkan maka dilakukan uji antagonisme yang dilanjutkan dengan pengkayaan bakteri hingga jumlahnya mencapai 10^7 cfu/ml serta penambahan nutrisi yang berfungsi sebagai sumber nutrisi bakteri dan menjaga untuk tetap mempertahankan sifat-sifat bakteri selama proses penyimpanan. Tolak ukur kemampuan kinerja konsorsium bakteri dilakukan dengan uji coba laboratorium memperbaiki kondisi lumpur aktif industri tekstil yang memiliki *sludge volume* 30 menit lebih dari 95%, dilihat penurunan *sludge volume* 30 menit dan *sludge volume* 24 jam setelah diberi tambahan konsorsium bakteri dengan waktu tinggal dalam lumpur aktif selama 24 jam dan waktu pengendapan 24 jam. Selanjutnya dilakukan

analisis COD untuk mengetahui tingkat penurunan COD.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Uji Antagonisme

Uji antagonisme dilakukan antar jenis bakteri terpilih dengan metode gores. Pada satu cawan petri digoreskan 2 jenis bakteri dan dilihat apakah terbentuk zona penghambatan atau tidak. Jika tidak terjadi zona penghambatan berarti kedua bakteri tersebut tidak masalah jika digabungkan. namun jika terjadi zona penghambatan maka kedua jenis bakteri tidak dapat digabungkan dalam satu konsorsium. Hasil uji antagonisme selengkapnya termuat dalam Tabel 1.

Tabel 1. Hasil Uji Antagonis 6 jenis Bakteri

	<i>Bacillus macerans</i>	<i>Bacillus thuringiensis</i>	<i>Bacillus subtilis</i>	<i>Bacillus sp</i>	<i>Pseudomonas stutzeri</i>	<i>Kurthia zopfii</i>
<i>Bacillus macerans</i>		zone penghambatan negatif	zone penghambatan negatif	zone penghambatan negatif	zone penghambatan negatif	zone penghambatan negatif
<i>Bacillus thuringiensis</i>	zone penghambatan negatif		zone penghambatan negatif	zone penghambatan negatif	zone penghambatan negatif	zone penghambatan negatif
<i>Bacillus subtilis</i>	zone penghambatan negatif	zone penghambatan negatif		zone penghambatan negatif	zone penghambatan negatif	zone penghambatan negatif
<i>Bacillus sp</i>	zone penghambatan negatif	zone penghambatan negatif	zone penghambatan negatif		zone penghambatan negatif	zone penghambatan negatif
<i>Pseudomonas stutzeri</i>	zone penghambatan negatif	zone penghambatan negatif	zone penghambatan negatif	zone penghambatan negatif		zone penghambatan negatif
<i>Kurthia zopfii</i>	zone penghambatan negatif	zone penghambatan negatif	zone penghambatan negatif	zone penghambatan negatif	zone penghambatan negatif	

Kondisi tersebut menunjukkan bahwa jika 6 (enam) jenis bakteri tersebut digabungkan dalam satu kesatuan biakan (konsorsium) tidak akan muncul sifat antagonisme dan diharapkan fungsi masing-masing dapat bersinergi untuk mendapatkan hasil kinerja bakteri yang optimal.

Dari 6 jenis bakteri yang dikonsorsiumkan, 4 diantaranya berasal dari genus *Bacillus*. Menurut Zahidah dan Shovitri (2013) isolat bakteri *Bacillus* memiliki sifat amilolitik, selulolitik, dan proteolitik dengan indeks masing-masing 0,93, 1,95, dan 1,39. Dengan sifatnya tersebut dipastikan bahwa jenis bakteri tersebut mampu berperan dalam degradasi limbah organik dengan cara menghidrolisis senyawa kompleks menjadi senyawa sederhana dengan enzim yang dimilikinya (Syamsudin, et al, 2008)

Pengkayaan Dan Pembuatan Konsorsium Bakteri

Inokulum masing-masing jenis bakteri yang disimpan dalam bentuk freeze dry diinokulasikan dalam media Nutrien Broth secara bertingkat, dari 100 ml dipindah dalam

media agar miring, diinokulasikan dalam nutrisi broth 100 ml dan dipindahkan dalam nutrisi broth 500 ml hingga menghasilkan jumlah minimal 10^7 CFU/mL. Inkubasi dilakukan selama 24 jam.

Pembuatan starter dilakukan dengan mencampurkan masing-masing jenis bakteri dengan jumlah bakteri di atas 10^7 CFU/mL dicampur menjadi satu dalam konsorsium campuran dengan jumlah perbandingan yang sama.

Penambahan Nutrien Dan Uji Coba Dalam Lumpur Aktif

Dalam uji coba penambahan nutrisi ini dibuat 5 perlakuan yaitu :

1. Konsorsium 6 jenis bakteri dalam 50 gr bekatul, 50 gula jawa per liter air, 5%. disebut perlakuan **A2** (jumlah bakteri $1,6 \times 10^{10}$ CFU/mL)
2. Konsorsium 6 jenis bakteri dalam 50 gr bekatul, 50 gram tetes tebu per liter air, 5%. disebut perlakuan **B2** (jumlah bakteri $3,6 \times 10^{10}$ CFU/mL)

3. Konsorsium 6 jenis bakteri dalam 25 gr bekatul, 50 gr gula per liter air, 5%, disebut perlakuan **C2** (bakteri $3,1 \times 10^{10}$ CFU/mL)
4. Konsorsium 6 jenis bakteri dalam 50 gr bekatul, 50 gula jawa per liter air, 2.5%, disebut perlakuan **D2** (bakteri $1,6 \times 10^{10}$ CFU/mL)
5. Starback 1%, disebut perlakuan **E2** (bakteri $2,8 \times 10^6$ CFU/mL)

Parameter yang diamati adalah Sludge volume 30 menit, kadar COD dan MLSS. Hasil pengamatan uji laboratorium dapat dilihat pada Tabel 2.

Tabel 2. Hasil Pengamatan Uji Coba Di Lumpur Aktif

Hari Ke	Parameter	Perlakuan				
		A2	B2	C2	D2	E2
1	SV30 menit (%)	94	93	93	93	92
	SV24 jam (%)	64	60	61	63	60
	MLSS	2060	2040	1920	1840	1590
	COD (mg/L)	125,2	256,8	165,9	238,4	258,4
2	SV30 menit (%)	94	91	84	80	82
	SV24 jam (%)	64	54	59	58	42
	MLSS	4070	4120	3490	3500	3290
	COD (mg/L)	326,9	421,05	256,8	266,4	130,8
3	SV30 menit (%)	93	91	93	94	68
	SV24 jam (%)	59	49	49	49	44
	MLSS	3870	3220	2880	2720	2720
	COD (mg/L)	287,4	374,2	307,4	238,1	243,1
4	SV30 menit (%)	86	86	85	91	90
	SV24 jam (%)	55	45	43	40	40
	MLSS	3290	2900	2960	3030	2330
	COD (mg/L)	95,05	91,05	72,4	93,4	46,7
5	SV30 menit (%)	86	86	85	91	90
	SV24 jam (%)	45	35	35	35	35
	MLSS	3440	2960	2800	2160	1930
	COD (mg/L)	155,6	159,5	58,4	94,2	60,7

Keterangan COD awal : 340 mg/L.

Dari hasil uji laboratorium terlihat bahwa pada perlakuan C2 memiliki kecenderungan hasil yang paling baik dibanding perlakuan yang lain. Pada perlakuan C2 ini penambahan nutrisi bekatul sebanyak 25 gram dan gula jawa 50 gram per liter menunjukkan campuran yang paling optimal. Jumlah bekatul yang hanya setengah dari perlakuan A2 dan B2 menjadikan sumber karbon kompleks tidak terlalu banyak, sehingga konsorsium bakteri dapat menggunakannya setelah menggunakan gula jawa sebagai sumber karbon yang lebih sederhana.

Penurunan COD mencapai 82% dari COD awal 340 mg/l menjadi 58,4 mg/l. SV30 menit menunjukkan penurunan yang cukup baik. dari semula berkisar di atas 93% menjadi yang terendah 85% pada hari ke 4 dan ke 5. Pengamatan SV24 jam yang menunjukkan kinerja sistem pengendapan menunjukkan bahwa dengan masa pengendapan 24 jam endapan *sludge* mencapai 35%.

Penurunan COD menunjukkan bakteri indigenous dan tambahan konsorsium bakteri yang ada dalam lumpur aktif mampu mendegradasi dengan baik kandungan bahan organik secara kimiawi.

Pencapaian nilai *sludge volume* 30 menit dan *sludge volume* 24 jam menunjukkan telah terjadi pemisahan flok yang cukup baik, sehingga jika dibuang ke lingkungan limbah cair sudah tidak bercampur dengan suspensi bakteri. Kemampuan bakteri dalam membentuk flok menentukan keberhasilan pengolahan limbah secara biologi, karena akan memudahkan pemisahan partikel dan air limbah. Selama proses pengendapan flok, material yang terdispersi, seperti sel bakteri dan flok kecil, menempel pada permukaan flok. Pembentukan flok lumpur aktif dan penjernihan dengan pengendapan flok akibat agregasi bakteri dan mekanisme adesi. Selanjutnya dinyatakan pula bahwa flokulasi dan sedimentasi flok tergantung pada hypobisitas internal dan eksternal dari flok dan material exopolimer dalam flok, dan tegangan permukaan larutan mempengaruhi hydropobisitas lumpur granular dari reaktor lumpur (Anna dan Malte (1997) dalam Herlambang (2013)).

Pengamatan flok di bawah mikroskop menunjukkan bentukan gumpalan-gumpalan namun tidak ada perbedaan yang nyata antar perlakuan.

SV 30 merupakan penyederhanaan pengukuran SVI (*sludge volume indeks*). Menurut Metcalf and Eddy (1981) SVI adalah volume lumpur mengendap yang terkandung 1 gram padatan lumpur kering dalam mililiter setelah 30 menit dидiamkan di *graduated cylinder* berukuran 1.000 ml atau settleometer. SVI digunakan untuk menentukan karakteristik lumpur yang tetap berada di dalam reaktor lumpur aktif dan tingkat pengembalian (*recycle sludge*) yang akan dipompa kembali ke bak aerasi.

Pengamatan nilai MLSS menunjukkan kecenderungan fluktuatif, hari ke dua cenderung naik melebihi pengamatan hari pertama dan hari ke tiga pada pengamatan hari ke hingga ke lima. Menurut Cheremisinoff (1996) MLSS (*mixed liquor suspended solid*) merupakan campuran antara massa bakteri tersuspensi dalam reaktor untuk mendegradasi senyawa organik yang terlarut dan tersuspensi dan air limbah yang mengandung senyawa organik. Nilai MLSS (*Mixed Liquor Suspended Solid*) berkisar antara 2000 – 3000 mg/L. Jikanilai MLSS lebih besar dari 3000 mg/L menunjukkan bahwa mikroorganisme yang ada dalam bak erasi kekurangan nutrisi sehingga memungkinkan terjadinya kanibalisme, sedangkan nilai MLSS kurang dari 2000 mg/L, menunjukkan bahwa pengolahan kurang baik karena jumlah mikroorganime terlalu sedikit (Metcalf and Eddy, 1981).

Penelitian dilanjutkan dengan uji lanjutan dengan menambahkan Nitrobacter dan yeast sebagai penambah konsorsium 6 jenis bakteri. Jumlah nitrobacter dan yeast yang ditambahkan adalah 10^7 CFU/ml. Dipilih Nitrobacter karena bakteri ini golongan autotrof yang dapat mengubah amonia menjadi nitrat, disebut juga bakteri nitrifikasi. Bakteri jenis ini akan mengoksidasi ammonia menjadi nitrit kemudian menjadi nitrat. Amonia biasa terdapat dalam air limbah industri tekstil. Perlakuannya terdiri atas :

1. Konsorsium 6 bakteri dengan Nitrobacter, tanpa penambahan yeast, 5%, disebut Perlakuan A3 (jumlah bakteri 6×10^9 cfu/mL).
2. Konsorsium 6 bakteri dengan Nitrobacter dan yeast , 5%, disebut Perlakuan B3 ((jumlah bakteri $8,1 \times 10^9$ cfu/mL).

Hasil analisis termuat dalam Tabel 3 di bawah ini.

Tabel 3. Hasil pengamatan uji lanjutan

Hari Ke	Parameter	Perlakuan	
		A3	B3
1	SV30 menit (%)	90	93
	SV24 jam (%)	52	58
	MLSS	2800	2760
	COD (mg/L)	180.96	186.47
2	SV30 menit (%)	90	80
	SV24 jam (%)	52	32
	MLSS	3200	3120
	COD (mg/L)	121.16	71.60
3	SV30 menit (%)	74	73
	SV24 jam (%)	39	32
	MLSS	3100	3200
	COD (mg/L)	61,85	55,42

Keterangan : COD awal 295 mg/L

Hasil pengamatan menunjukkan bahwa perlakuan B3 yang terdiri atas Nitrobacter dan yeast menunjukkan penurunan nilai COD lebih baik dibanding perlakuan tanpa yeast. Penurunan COD di B3 mencapai 81% sementara di A3 79%, kondisi ini menunjukkan bahwa yeast ikut berperan aktif dalam proses degradasi air limbah.

Pengamatan terhadap *sludge volume* 30 menit dan *sludge volume* 24 jam, perlakuan B3 juga relatif lebih baik dibanding A3. Nitrobacter, yeast dan konsorsium mikrobia dapat memacu perbesaran flok sehingga proses pengendapan menjadi lebih baik

KESIMPULAN

Hasil uji antagonisme antar species terpilih menunjukkan tidak munculnya zone penghambatan, sehingga 6 (enam) jenis bakteri yaitu *Bacillus macerans*, *Bacillus subtilis*, *Bacillus thuringiensis*, *Bacillus sp*, *Kurthia zopfi*, dan *Pseudomonas stutzeri* dapat digabungkan dalam satu konsorsium.

Hasil uji coba laboratorium menunjukkan konsorsium yang ditambahkan nutrien berupa 25 gr bekatul dan 50 gram gula per liter air dengan pencapaian *sludge volume* 30 menit 85% dan setelah diendapkan 24 jam adalah 35% dengan penurunan COD 82% Uji coba lanjutan menunjukkan bahwa konsorsium dalam 6 jenis bakteri ditambah Nitrobacter dan yeast *sludge volume* 30 menit terbaik mencapai 73% setelah diendapkan 24 jam menjadi 32% dengan penurunan COD mencapai 81%.

UCAPAN TERIMAKASIH

Terimakasih penulis sampaikan untuk alanis lab mikrobiologi Meyliza Fatmasari yang telah membantu penelitian ini.

DAFTAR PUSTAKA

- Alexander. M, 1977, Introduction to Soil Microbiology, John Wiley and Sons. Inc. : New York
- Ariyanti, T, 2010, Bakteri *Listeria Monocytogenes* Sebagai Kontaminan Makanan Asal Hewan (Foodborne Disease), WARTAZOA Vol. 20 No. 2 Th. 2010.
- Cheremisinoff, Nicholas. P., 1996, Biotechnology For Waste And Wastewater Treatment. Noyes Publications : New Jersey.
- Deacon. J, 2004, The Microbial World: Thermophilic microorganisms. Institute of Cell and Molecular Biology, The University of Edinburgh.
- Gupta. A, Abhishek. M, Paul. C, dan Ramon G, 2009, Anaerobic Fermentation of Glycerol in *Paenibacillus macerans* : Metabolic Pathways and Environmental Determinants, Applied and environmental microbiology. Sept. 2009, p. 5871–5883.
- Herlambang, A., 2013, *Teknologi Pengolahan Limbah Cair Industri*. Publikasi Ilmiah. Pusat Pengkajian dan Penerapan Teknologi Lingkungan, Badan Pengkajian dan Penerapan Teknologi, Jakarta
- Metcalf dan Eddy. Inc, 1981, Waste Water Engineering Treatment Disposal Reuse, 2 nd edition, Mc Graw Hills Inc, New York.
- Syamsudin, Purwati. S, Taufiek. A, (2008), Efektifitas Aplikasi Enzim dalam Sistem Lumpur Aktif pada Pengolahan Air Limbah Pulp dan Kertas, Berita Selulosa Vol 43 (2) hal 83-92, Des 2008, ISSN 00059145
- Wahyudi, P, 1999, Suksesi Mikroba Lumpur Aktif di Sistem Penanganan Air Limbah Organik, Jurnal Sains dan teknologi Indonesia, Vol 1 no 2 , Mei 1999.
- Waluyo. L, 2005, Mikrobiologi Lingkungan, UMM Press, Malang.
- Wignyanto, Nur Hidayat, dan Alfia Ariningrum, 2009, Bioremediasi Limbah Cair Sentra Industri Tempe Sanan Serta Perencanaan Unit Pengolahannya (Kajian Pengaturan Kecepatan Aerasi Dan Waktu

Inkubasi).jtp.ub.ac.id/index.php/jtp/article/viewFile/292/351

Zahidah, D dan Shovitri, M, 2013, Isolasi, Karakterisasi dan Potensi Bakteri Aerob Sebagai Pendegradasi Limbah Organik, JURNAL SAINS DAN SENI POMITS Vol. 2, No.1, (2013) 2337-3520