

Penerapan Metode *Activated Sludge* dalam Pengolahan Limbah Cair Industri Tahu Beru

Husni Zaini Abdul Gani^{1*}, Bagyo Yanuwadi², Arief Rachmansyah³

¹Program Studi Pascasarjana Pengelolaan Sumberdaya Lingkungan & Pembangunan, Fakultas Interdisipliner, Universitas Brawijaya Malang, Jln. Veteran, Malang, 65143, Indonesia

^{2,3}Dosen Program Studi Pascasarjana Pengelolaan Sumberdaya Lingkungan & Pembangunan, Fakultas Interdisipliner, Universitas Brawijaya Malang, Jln. Veteran, Malang, 65143, Indonesia

*Koresponden E-mail: husnizaini.hz22@gmail.com

(Diterima: 3 Desember 2021 | Disetujui: 30 Juli 2022 | Diterbitkan: 31 Juli 2022)

Abstract: *The tofu industry in its production process uses \pm 25 liters of water per 1 kg of soybean raw material. Soybean used as raw material for tofu contains protein, carbohydrates, fat, and other nutritional ingredients so that the resulting liquid waste contains high organic matter that has the potential to pollute the environment with a value of Biological Oxygen Demand (BOD) of 467 mg/L and Chemical Oxygen Demand (COD) of 668.2 mg/L. Efforts to control water pollution can be overcome by processing biotechnology using an activated sludge system. This study aims to analyze the effectiveness of polluted water sediment as the main ingredient of activated sludge in reducing levels of Biological Oxygen Demand (BOD) and Chemical Oxygen Demand (COD) and to determine the growth rate of microorganisms in the acclimatization process. This research was carried out on 4 different composition variations in batches under aerobic conditions using an aerator and a pump as a stirrer. The results showed that the composition of the sludge in treatment IV, namely the composition of the sludge consisting of (60% Waste, 40% Nutrients, and cultured RPH sludge) was the best composition at 60 hours of aeration with the effectiveness of removing BOD concentration of 90.10% and COD concentration. amounted to 87.41% or achieved a reduction value of 46.21 mg/L of BOD concentration and 84.14 mg/L of COD concentration with a specific biomass growth rate of 0.054 day⁻¹.*

Keywords: *acclimatization; biomass; biotechnology; BOD; COD*

PENDAHULUAN

Tahu adalah salah satu dari sekian banyak jenis makanan yang sudah tidak asing didengar bagi masyarakat Indonesia. Biasanya tahu dihidangkan sebagai makanan ringan ataupun sebagai lauk. Dalam proses pembuatan tahu bahan dasar yang digunakan ialah kacang kedelai yang terlebih dahulu sudah dihancurkan dan digumpalkan untuk mempermudah pembentukan tekstur tahu menjadi bentuk kotak pada umumnya (Sudaryati, Kasa, & Suyasa, 2012). Industri tahu dalam proses produksinya banyak memakai air untuk mencuci, menetralkan suhu air yang terlalu panas serta sebagai bahan dasar produksi. Pada proses produksi air yang digunakan \pm 25 liter per 1 kilo gram kedelai. Sebagai bahan dasar pembuatan tahu, kedelai mengandung protein, lemak, karbohidrat serta nutrisi lainnya, oleh karena itu air yang dihasilkan dari sisa produksi tahu mengandung senyawa organik yang tinggi. Limbah cair yang kaya akan senyawa organik dapat menjadi media bagi mikroorganisme (Kasa, Sudaryati, & Suyasa, 2012).

Produksi tahu yang ada di Indonesia sebagian besar dilakukan oleh sebagian masyarakat yang termasuk golongan menengah ke bawah. Produksi tahu masih dilakukan secara konvensional, oleh sebab itu, sebagian besar industri tahu tidak mempunyai sebuah sistem pengolahan yang mampu mengolah buangan limbah hasil produksi tahu (Andriani, Utami,

& Yudhistira, 2016). Penggunaan teknologi yang minimalis mempunyai nilai efektivitas cukup kecil dimana residu yang dihasilkan lebih besar daripada produk (Afifah & Suryawan, 2020). Belum optimalnya proses produksi didasari masih mengandalkan tenaga manusia seperti pencucian, pengilingan dan pencetakan (Basir, Nani, & Silvy, 2014). Menurut (Adack, 2013), Beberapa dari industri tahu masih secara masif membuang air hasil produksinya ke badan air dengan tanpa melakukan pengolahan limbah terlebih dahulu. Limbah cair industri tahu yang masih mengandung nilai protein tinggi dibuang langsung ke lingkungan tanpa melewati proses pengolahan terlebih dahulu dapat menurunkan nilai konsentrasi protein dalam limbah tersebut yang menyebabkan protein mudah terurai sehingga memunculkan adanya bau busuk yang mengganggu baik dari aspek kesehatan masyarakat maupun estetika lingkungan (Kesuma, 2013). Selain itu, Berbagai macam dampak kesehatan maupun lingkungan dari aktivitas pembuangan limbah cair secara langsung dan masif ke badan air salah satunya ialah terjadinya eutrofikasi dan menjadi racun sekaligus sebagai ancaman bagi kelangsungan hidup biota sekitar (Serventi & Wang, 2019). Industri tahu dalam proses produksinya menghasilkan residu berupa limbah cair dan limbah padat. Namun, limbah cair memiliki nilai dampak pencemaran yang lebih besar dari pada limbah padat (Agung & Hanry, 2010). Menurut (Levina, 2016) Limbah Padat telah banyak

dimanfaatkan oleh masyarakat sebagai makanan ternak sedangkan limbah cair sama sekali belum dimanfaatkan. Padahal limbah cair yang dihasilkan dari proses produksi sangatlah besar. Limbah cair tahu yang dibuang ke perairan mengakibatkan dampak buruk bagi kualitas air yaitu menimbulkan adanya bau busuk pada sungai atau tempat disekitar pembuangan limbah cair tahu tersebut. Keberadaan limbah cair dapat memberikan dampak negatif terhadap suatu kegiatan industri, namun apabila limbah cair tahu dimaksimalkan dengan melakukan penanganan teknologi yang tepat guna akan dapat memberikan dampak positif.

Pihak Industri tahu Beru dalam usaha mengurangi beban pencemaran limbah cair tahu tersebut yaitu hanya dengan menampung air limbah tahu pada tong-tong bekas ketika selesai melakukan setiap tahapan dalam proses produksi tahu. Air limbah yang dihasilkan akan bermuara di sungai Bronjong yang dibuang melalui selokan limbah industri tahu tanpa melakukan proses pengolahan. Hal ini disebabkan industri tahu tersebut belum mempunyai suatu model pengolahan yang efektif untuk menurunkan beban pencemar pada limbah tahu. Sedangkan Pemerintah telah mengeluarkan peraturan tentang kewajiban pengelolaan limbah cair bagi usaha dan/atau kegiatan pengelolaan kedelai melalui peraturan Menteri Negara Lingkungan Hidup Nomor 15 Tahun 2008, walaupun peraturan ini sudah beberapa tahun dikeluarkan, namun implementasinya belum berjalan secara efektif. Rendahnya penanganan dalam pengolahan limbah cair tahu tersebut didukung dengan adanya hasil pra penelitian yang menunjukkan bahwa limbah industri tahu Beru mempunyai kadar konsentrasi COD (*Chemical Oxygen Demand*) sebesar 668,2 mg/L dan kadar konsentrasi BOD (*Biological Oxygen Demand*) sebesar 472 mg/L serta nilai tingkat keasaman atau pH berkisar antara 3,5 - 4,7. Untuk memenuhi sebuah kelayakan atau standar mutu limbah cair tahu yang ditetapkan melalui Peraturan Menteri Lingkungan Hidup Republik Indonesia Nomor 5 Tahun 2014 tentang baku mutu air limbah, maka perlu adanya pengolahan limbah cair tahu sebelum di buang ke badan sungai.

Pendekatan bioteknologi dengan memanfaatkan mikroorganisme merupakan salah satu pendekatan dalam mengolah limbah yang ramah lingkungan. Salah satu sistem pengolahan limbah secara biologi ialah dengan sistem lumpur aktif (Hermawan & Setianingsih, 2015). Lumpur aktif ialah metode pengolahan limbah konvensional yang sebagian besar masih dimanfaatkan oleh negara asing lainnya. Lumpur aktif ialah suspensi biologi yang berperan aktif mereduksi senyawa organik yang terlarut. (Suryawan, 2019) Lumpur aktif aerob ialah proses penyaluran oksigen kepada bakteri aerob yang terjadi didalam reaktor biologis, selain itu ada dua reaksi yang terjadi di tangki aerasi yaitu reaksi oksidasi karbon dan nitrifikasi. Ketersediaan oksigen terlarut yang cukup, memberikan tingkat optimalisasi pada pertumbuhan mikroorganisme, sehingga penyisihan zat pencemar dapat berproses dengan baik. Konsentrasi *disolved*

Oxygen (DO) yang rendah dapat mengakibatkan adanya akumulasi nitrit karena proses nitrifikasi. Sedangkan konsentrasi *disolved Oxygen* (DO) yang tinggi mengakibatkan menurunnya persaingan antara mikroorganisme dalam memanfaatkan oksigen dan dengan adanya proses nitrifikasi juga mengakibatkan konsumsi daya yang meningkat.

Berdasarkan latar belakang tersebut penulis tertarik untuk meneliti penerapan sistem *activated sludge* dalam pengolahan limbah cair industri tahu. Dalam sistem biologi ini, lumpur aktif (*activated sludge*) didefinisikan sebagai koloni mikroorganisme yang hidup dan tumbuh dalam keadaan tersuspensi menyerupai gumpalan-gumpalan kecil berbentuk padatan yang mudah mengendap. Tambahan kata aktif diberikan karena selain mereduksi substrat (buangan), juga mempunyai permukaan yang dapat menyerap substrat secara aktif. Sistem operasi lumpur aktif bertujuan untuk mengurangi konsentrasi zat organik karena adanya aktivitas mikroorganisme (Ratnani, 2011). Pengolahan *activated sludge* merupakan konsep pengolahan limbah dengan mendayagunakan kemampuan mikroorganisme dalam memecah senyawa organik kompleks menjadi senyawa stabil dengan penurunan nilai (*Biological Oxygen Demand*) dan (*Chemical Oxygen Demand*) pada limbah mencapai 70-95%. Pengolahan menggunakan lumpur terdiri dari materi yang tidak larut dan umumnya tersusun serat organik yang kaya akan selulosa serta terbentuknya kehidupan mikroorganisme (Kasa, Sudaryati, & Suyasa, 2012). Pada riset ini menggunakan bahan lumpur aktif yang bersumber dari limbah itu sendiri (*indigenous*) karena mengandung jumlah massa mikroorganisme yang telah mampu beradaptasi dengan lingkungan asli. (Chojnacka, 2010) mengatakan bahwa mikroorganisme yang asli (*indigenous*) mempunyai daya kemampuan resistensi dan toleransi terhadap zat pencemar yang ada disekitarnya, sehingga mempunyai kapasitas untuk dapat digunakan sebagai pelaku bioremediasi. Selain itu riset yang sudah dilakukan membuktikan bahwa banyak mikroorganisme (*indigenous*) juga dapat digunakan untuk mereduksi senyawa-senyawa toksik (Zulaika et al, 2012). Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis efektifitas endapan lumpur tercemar sebagai bahan utama lumpur aktif untuk serta mengetahui laju pertumbuhan mikroorganisme pada proses aklimatisasi dalam mengolah limbah cair industri tahu Beru.

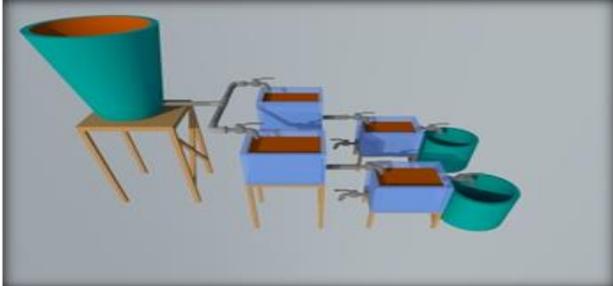
BAHAN DAN METODE

Jenis Penelitian yang digunakan dalam penerapan sistem *activated sludge* merupakan penelitian kuantitatif. Pengolahan limbah cair industri tahu beru dilakukan dalam skala laboratorium.

Persiapan Alat

Berbagai alat yang digunakan untuk proses pengolahan limbah yaitu serangkaian reaktor pengolahan yang terbuat dari kaca, lalu aerator yang

digunakan untuk menyuplai oksigen, adapun peralatan untuk mengontrol lingkungan mikroorganisme pada air limbah seperti pH meter, termometer, DO meter, dan berbagai alat yang digunakan untuk menganalisis sample antara lain gelas beaker, neraca analitik, kompor listrik, sterofom, botol sampel, kertas saring, cawan, saringan, oven, furnace, desikator, tabung ukur, labu ukur dan lain sebagainya.



Gambar 1. Reaktor Pengolahan Sistem *Activated Sludge*

Persiapan Bahan

Bahan utama yang digunakan dalam pengolahan *activated sludge* ialah limbah yang berasal dari kegiatan produksi tahu. Adapun bahan kimia yang digunakan untuk menetralkan pH air limbah tahu ialah NaOH dan HNO₃. Biakan mikroorganisme yang digunakan pada proses *seeding* ialah endapan lumpur yang berasal dari rumah potong hewan (RPH) seperti cairan ramen sapi yang diambil dari selokan pembuangan limbah. Limbah cair RPH mengandung larutan darah, protein, lemak dan padatan tersuspensi yang menyebabkan tingginya bahan organik dan nutrisi (Kundu et al, 2013), selain itu limbah RPH mengandung mikroba yang berasal dari feses, urine, isi rumen atau isi lambung darah, daging atau lemak (Tantrip & Tungka, 2011). Menurut penelitian Aini dkk, 2017 bahwa uji mikrobiologi air limbah RPH Sapi mengandung mikroba jenis *E. Coli* dan *Salmonella*. Bahan lainnya ialah nutrisi (glukosa) yang digunakan sebagai sumber makanan mikroorganisme serta aquadest yang digunakan sebagai bahan pengenceran dan pencucian peralatan laboratorium.

Prosedur Proses Netralisasi

Proses Netralisasi yang mana Sampel di koagulasi dan dinetralkan dengan menggunakan NaOH dan HNO₃ sampai pHnya berkisar 6,5-7,5. Hasil ini kemudian di analisa COD dan BOD. Proses tersebut dilakukan untuk mendapatkan lingkungan yang baik untuk pertumbuhan mikroorganisme.

Prosedur Proses (*Seeding*)

Seeding dilakukan guna mendapatkan beberapa mikroorganisme yang berpotensi dalam mereduksi bahan organik, proses *Seeding* dilakukan secara *batch* pada bak aerasi dengan menambahkan nutrisi untuk mendukung pertumbuhan mikroorganisme. Pada proses pembenihan dimasukkan 10 gram sedimen lumpur yang berasal dari selokan RPH, tambahkan aquadest dengan pengenceran menjadi 1000 ml, selanjutnya tambahkan nutrisi (*glukosa*) sebanyak 10 gram, kemudian aktifkan aerator pada bak *seeding*

dengan konsentrasi oksigen sebesar 5 mg/L, setelah itu dilakukan pengukuran suhu, pH dan DO selama proses pembenihan berlangsung. Proses pembenihan atau *seeding* akan selesai dilakukan jika nilai Standar *Mixed Liquor Suspended Solid* (MLSS) telah mencapai 1500 mg/L kemudian dilanjutkan dengan proses aklimatisasi. Menurut (Marsono, 1997) Standar *Mixed Liquor Suspended Solid* (MLSS) digunakan pada *Activated Sludge Conventional* 1500-3000 mg/L.

Prosedur Proses Aklimatisasi

Proses Aklimatisasi sebagai bentuk adaptasi mikroorganisme terhadap kondisi lingkungan barunya hingga adaptasi mikroorganisme aktif dengan air limbah telah menunjukkan kesetabilan.

Pada proses aklimatisasi digunakan 4 perlakuan dengan komposisi yang berbeda-beda yaitu aklimatisasi I menggunakan komposisi campuran 60% air limbah tahu dan 40% Nutrisi (Glukosa 6 gram + 600 ml aquadest), lalu pada aklimatisasi II menggunakan komposisi campuran 40% air limbah tahu dan 60% Nutrisi (Glukosa 9 gram + 900 ml aquadest), kemudian aklimatisasi III menggunakan komposisi 100% air limbah tahu dan pada aklimatisasi IV menggunakan hasil pembenihan (*seeding*) lumpur RPH yang dicampurkan dengan komposisi perbandingan terbaik antara aklimatisasi I dan II. Kemudian mengaktifkan aerator untuk menyuplai oksigen dengan konsentrasi sebesar 5 mg/L. dan melakukan pengontrolan kondisi lingkungan pada air limbah secara berkala. *Steady State* ialah suatu kondisi yang menunjukkan kesetabilan penyisihan senyawa organik yang dikonsumsi oleh mikroorganisme. Kesetabilan kondisi *Steady State* ditandai dengan selisih penurunan bahan organik selama tiga hari berturut-turut tidak lebih dari 10%. Untuk mengetahui penyisihan bahan organik dapat digunakan persamaan berikut:

$$\frac{\text{Konsentrasi Awal} - \text{Konsentrasi Akhir}}{\text{Konsentrasi Awal}} \times 100\% \quad (1)$$

Proses Running

Setelah melewati tahap aklimatisasi selanjutnya melakukan proses aerasi selama 60 jam di dalam bak Bioreaktor dengan konsentrasi oksigen 5 mg/L yang dilakukan secara *batch*. Menurut Ratnani, 2011) dengan sistem *batch* dapat mencapai efisiensi perombakan COD sebesar 90%. Setelah itu alirkan hasil proses aerasi dari Bioreaktor ke reaktor pengendapan untuk memisahkan lumpur dan air hasil olahan. Setelah 1 jam melakukan pengambilan sampel akhir pada air hasil olahan dari reaktor pengendapan, yang selanjutnya dilakukan uji analisis BOD dan COD pada air hasil olahan tersebut.

Analisis Sample

Analisis sampel akhir yaitu parameter BOD dan COD yang mana merupakan variabel terikatnya. Untuk menganalisis parameter BOD menggunakan metode botol *Winkler* berdasarkan SNI 6989.72:2009 sedangkan untuk parameter COD menggunakan

metode refluks terbuka berdasarkan SNI 6989.15:2019. Disamping itu dilakukan juga analisis pada parameter proses seperti MLSS dan MLVSS. Dari data-data yang didapatkan dari penelitian tersebut akan ditabulasikan melalui tabel dan grafik selanjutnya dianalisis secara *komparatif*.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Pembenihan (*Seeding*)

Dalam penelitian ini digunakan lumpur aktif dari rumah potong hewan. Yang mana dari aktivitas rumah potong hewan dapat menghasilkan lumpur seperti cairan isi ramen dan kotoran sapi yang masih mengandung bahan organik tinggi (Manender, 2010). Menurut Presto dan Leng dalam (Priyatno, 1996), di dalam rumen sapi dan kerbau, hidup beberapa jenis mikroba seperti bakteri, *fungi*, *yeast* dan *protozoa*. Kelompok bakteri merupakan jenis mikroba yang jumlahnya paling banyak terdapat didalam rumen. Proses *seeding* lumpur aktif dilakukan untuk mengetahui jumlah biomassa yang terkandung di dalam lumpur aktif tersebut. Berikut merupakan hasil uji analisis nilai *Mixed Liquor Suspended Solid* (MLSS) dapat dilihat pada tabel 1.

Tabel 1. Hasil analisis uji MLSS pada Lumpur Aktif

No	Suhu (°C)	pH	DO (mg/L)	MLSS (mg/L)
1.	28,5	6,8	5,75	988
2.	27,5	7,2	5,76	1492
3.	27,5	7,5	5,57	3742

Berdasarkan hasil analisis pengujian paramater MLSS bahwa selama tiga hari berturut-turut mengalami peningkatan secara signifikan. Pada hari pertama hingga hari kedua mengalami peningkatan namun belum memenuhi Standar *Mixed Liquor Suspended Solid* (MLSS) yang ditetapkan. Sedangkan pada hari ketiga peningkatan jumlah biomassa telah memenuhi standar MLSS dengan nilai 3742 mg/L. hal tersebut menunjukkan adanya pengaruh waktu kontak terhadap mikroorganism, yang mengindikasikan semakin lama waktu kontak maka semakin baik pula pertumbuhan mikroorganism

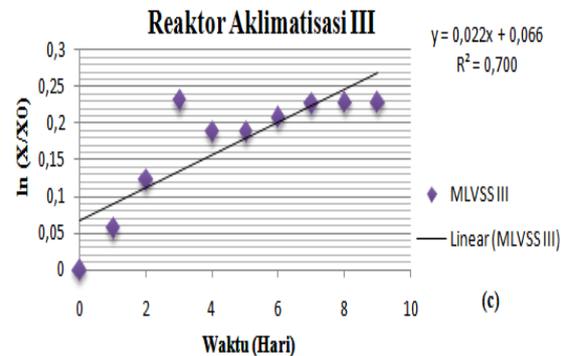
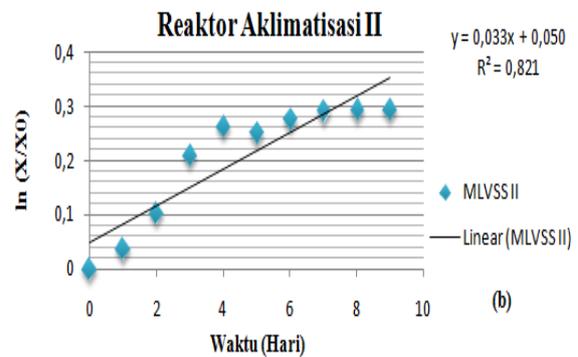
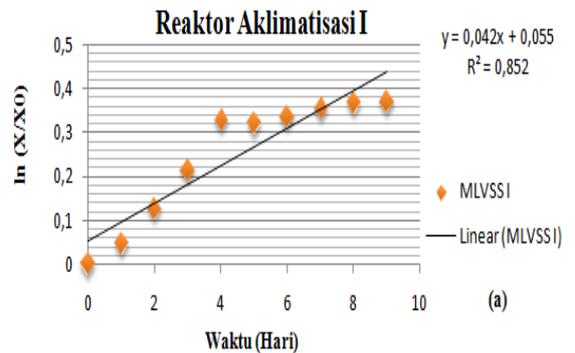
Aklimatisasi

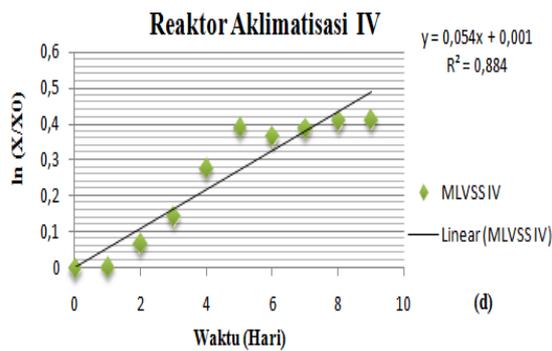
Aklimatisasi merupakan suatu upaya penyesuaian fisiologis atau adaptasi dari suatu mikroorganism terhadap suatu lingkungan baru yang akan dimasukkannya. Proses aklimatisasi dilakukan hingga mencapai kondisi *steady state*, yang membuktikan bahwa mikroorganism pada lumpur aktif telah beradaptasi dengan air limbah tahu. Parameter yang akan diuji selama proses aklimatisasi ini adalah konsentrasi nilai MLVSS dan COD. Berikut merupakan hasil uji analisis nilai *Mixed Liquor Volatile Suspended Solid* (MLVSS) pada proses Aklimatisasi yang dapat dilihat lebih lanjut pada tabel 2.

Tabel 2. Hasil uji MLVSS pada proses Aklimatisasi

Hari ke-n	Perlakuan Penelitian			
	AK I	AK II	AK III	AK IV
0	1580	1575	1690	2142
1	1660	1634	1789	2147
2	1798	1750	1910	2288
3	1961	1945	2128	2467
4	2198	2049	2042	2832
5	2179	2025	2039	3164
6	2212	2075	2084	3087
7	2259	2105	2119	3152
8	2285	2112	2124	3215
9	2291	2115	2126	3229

Dengan berdasarkan persamaan laju reaksi orde satu maka didapatkan persamaan nilai μ . Kemudian dilakukan perhitungan μ pada masing-masing reaktor untuk masing-masing pertumbuhannya pada empat variasi di tahap aklimatisasi. Berikut hasil plot antara nilai (t) terhadap (ln X) dapat dilihat pada gambar 2.





Gambar 2. Plot antara nilai (t) terhadap $(\ln X)$ pada setiap reaktor penelitian (a) Aklimatisasi I, (b) Aklimatisasi II, (c) Aklimatisasi III dan (d) Aklimatisasi IV.

Selama poses aklimatisasi yang dilakukan selama 9 hari menunjukkan perubahan secara fluktuatif. Pada proses aklimatisasi yang dilakukan pada percobaan awal adalah dengan membandingkan hasil percobaan aklimatisasi pada reaktor aklimatisasi I dan II. Hasil pengukuran kadar *MLVSS* Pada reaktor aklimatisasi I hari ke-9 lebih besar yaitu 2291 mg/L dengan laju pertumbuhan spesifik sebesar $0,042 \text{ hari}^{-1}$ sedangkan aklimatisasi II hari ke-9 yaitu 2115 mg/L dengan laju pertumbuhan spesifik sebesar $0,033 \text{ hari}^{-1}$. Hal ini dilakukan untuk mencari komposisi pengolahan yang tepat. Setelah didapatkan aklimatisasi I mempunyai hasil yang lebih baik maka komposisi pada aklimatisasi I yaitu 60% limbah dan 40% nutrisi (glukosa) dicampurkan dengan sedimen lumpur RPH sebagai bahan biakan lumpur aktif yang selanjutnya disebut reaktor aklimatisasi IV.

Hasil perhitungan menunjukkan bahwa laju pertumbuhan spesifik pada tahap aklimatisasi IV lebih besar yaitu $0,054 \text{ hari}^{-1}$ dibandingkan dengan aklimatisasi I, II dan III dengan nilai tingkat laju pertumbuhan spesifik yang diperoleh berturut-turut yaitu sebesar $0,042 \text{ hari}^{-1}$ untuk aklimatisasi I, $0,033 \text{ hari}^{-1}$ untuk aklimatisasi II dan $0,022 \text{ hari}^{-1}$ untuk aklimatisasi III. Pertumbuhan mikroorganisme yang optimal terjadi karena adanya penambahan glukosa sebagai sumber nutrisi dan penambahan biakan bahan lumpur aktif dari rumah potong hewan.

Berdasarkan tabel 2 menunjukkan bahwa untuk reaktor aklimatisasi I dan II mengalami penurunan kadar *MLVSS* yang terjadi pada hari ke-5 dan aklimatisasi III mengalami penurunan *MLVSS* yang terjadi pada hari ke-4 dan ke-5 sedangkan untuk Aklimatisasi IV mengalami penurunan kadar *MLVSS* yang terjadi pada hari ke-6. Hal ini membuktikan bahwa lumpur belum dapat beradaptasi dengan substrat. Selain itu, penurunan kadar *MLVSS* dapat disebabkan karena adanya kematian mikroorganisme yang dipicu ketidakmampuan mikroorganisme bertahan hidup pada lingkungan baru (Schuner & Jarvis, 2009). Hal demikian serupa menurut (Mulyani et al, 2009) yang mengatakan penurunan nilai konsentrasi *MLVSS* menunjukkan bahwa mikroorganisme pada lumpur belum beradaptasi dengan air limbah yang akan di olah, sehingga

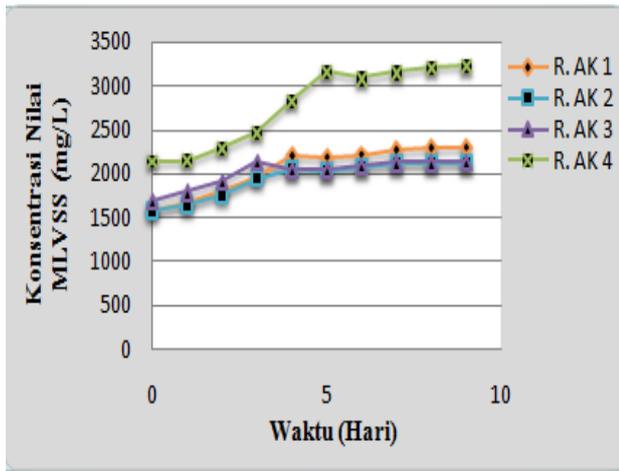
menyebabkan kematian terhadap mikroorganisme yang tidak mampu bertahan hidup.

Seiring dengan penambahan waktu aklimatisasi, kadar *MLVSS* menjadi meningkat. Ini sesuai dengan pillay et al, (2006) & Schuner & Jarvis, (2009). Yang menyatakan dengan semakin meningkatnya waktu kontak antara mikroorganisme yang ada di dalam lumpur biakan dan limbah akan dapat menghilangkan senyawa dan polutan organik yang berkadar konsentrasi tinggi. Peningkatan kadar *MLVSS* pada reaktor aklimatisasi I dan II terjadi pada hari ke-1 hingga hari ke-4 dan hari ke-6 hingga hari ke-9 dan untuk reaktor aklimatisasi III terjadi pada hari ke-1 hingga hari ke-3 dan kembali meningkat pada hari ke-6 hingga hari ke-9 sedangkan pada reaktor aklimatisasi IV terjadi pada hari ke-3 hingga hari ke-5 dan kembali meningkat pada hari ke-7 hingga hari ke-9 Namun, kadar *MLVSS* dapat menjadi turun setelah mencapai nilai maksimum. Hal tersebut dikarenakan cukup tingginya laju kematian mikroorganisme yang disebabkan persaingan internal antar populasi untuk mempertahankan hidup.

Pada proses aklimatisasi lumpur mengalami perubahan secara visual, yang ditunjukkan melalui perubahan warna suspensi yang sebelumnya kuning keruh kemudian berubah menjadi coklat kehitaman. Menurut (Romli & Suprihatin, 2004) hal tersebut mengindikasikan adanya pertumbuhan bakteri yang ditandai dengan perubahan warna. Lumpur yang telah diaklimatisasi kemudian dilakukan analisa *MLVSS*. Analisa *MLVSS* menunjukkan jumlah komponen biomassa terbanyak berdasarkan pengukuran kadar *MLVSS* didapatkan pada variasi perlakuan Aklimatisasi IV yaitu sebesar 3229 mg/L. Hal ini disebabkan karena pada aklimatisasi IV mempunyai bahan biakan dari lumpur RPH telah melalui proses *seeding*, sehingga nilai *MLVSS* pada proses aklimatisasi didapatkan cukup besar jika dibandingkan pada variasi perlakuan Aklimatisasi I, II dan III yang tanpa melalui proses *seeding*.

Fase adaptasi (fase *lag*) merupakan waktu kontak yang diperlukan oleh mikroorganisme untuk dapat menyesuaikan dirinya dengan lingkungan barunya. Pada penelitian ini, fase adaptasi tidak begitu kelihatan pada reaktor I, II dan III. Sehingga, seolah-olah pertumbuhan mikroorganisme langsung menuju pada fase eksponensial atau fase pembelahan sel. Hal ini disebabkan karena fase adaptasi kemungkinan terjadi dengan waktu yang relatif singkat berkisar 1-12 jam diawal penelitian, sehingga analisis konsentrasi *MLVSS* dilakukan setiap satu hari sekali tidak mampu membaca keadaan adaptasi dari mikroorganisme tersebut. Yuniana (2008) mengatakan singkatnya fase adaptasi bakteri dikarenakan bakteri tersebut tumbuh pada media yang serupa, menyebabkan singkatnya waktu adaptasi pada lingkungan yang baru. Pendek atau panjangnya fase adaptasi sangat ditentukan oleh jumlah sel yang diinokulasi, kondisi morfologis dan fisiologis yang sesuai serta media kultivasi yang diperlukan (Fardiaz, 1992). Berbeda dengan reaktor I, II dan III. pada reaktor IV yang mana biakan lumpur dari limbah rumah potong hewan yang di campur dengan limbah tahu mengalami fase adaptasi pada hari

ke-1 hingga hari ke-2, hal ini dikarenakan mikroorganisme yang berada pada biakan lumpur dari limbah rumah potong hewan mengalami proses penyesuaian pada lingkungan baru ketika telah dicampurkan pada limbah tahu tersebut.



Gambar 3. Grafik konsentrasi nilai MLVSS (mg/L)

Fase eksponensial merupakan tahap pembelahan sel yang dilakukan oleh mikroorganisme hingga mencapai jumlah sel maksimum (Kecepatan pertumbuhan per periode) (Plezer dan Chan, 2005). Fase eksponensial atau logaritmik dicirikan adanya laju pertumbuhan yang signifikan pada pertumbuhan sel-selnya, hal serupa dikemukakan oleh Reiny (2012) yang mengatakan bahwa pada fase logaritmik menunjukkan pembelahan diri pada sel dengan laju kesetimbangan pertumbuhan yang stabil atau tetap. Pada penelitian ini, keempat reaktor mengalami fase pembelahan sel. Untuk reaktor I dan II mengalami fase eksponensial terjadi pada hari ke-1 hingga hari ke-4 dan untuk reaktor III mengalami fase eksponensial terjadi pada hari ke-1 hingga hari ke-3 sedangkan untuk reaktor IV mengalami fase eksponensial terjadi pada jam ke-3 hingga jam ke-5. Pertumbuhan bakteri dapat terhambat karena adanya beban pencemar dalam lingkungannya yang bersifat toksik dan akan mengganggu sistem kinerja enzim. Kondisi tersebut akan ikut mempengaruhi proses kerja metabolisme sel yang menyebabkan rendahnya jumlah sel yang diproduksi.

Menurut Sumarsih (2003), kondisi maksimum pada tahap stasioner, mengalami kematian jumlah sel yang semakin meningkat hingga terjadi kesetimbangan antara jumlah sel yang mati dan jumlah sel yang

hidup, kondisi yang demikian membuat jumlah sel yang hidup menjadi stabil atau tetap. Peristiwa tersebut menunjukkan semakin menipisnya ketersediaan nutrisi dan adanya senyawa hasil metabolisme yang bersifat toksik bagi mikroorganisme. (Reiny, 2012) mengatakan fase ini menggambarkan terjadinya akumulasi metabolit hasil aktivitas metabolisme dan kandungan nutrisi yang telah habis, Hal yang demikian, menimbulkan kematian pada beberapa sel yang mengalami kesulitan untuk mendapatkan nutrisi. sehingga jumlah sel menjadi relatif konstan. Pada penelitian ini, keempat reaktor mengalami fase stasioner. Reaktor I dan II mengalami fase stasioner yang terjadi pada hari ke-5 hingga hari ke-9, dan reaktor III mengalami fase stasioner yang terjadi pada hari ke-4 hingga hari ke-9 sedangkan pada reaktor IV mengalami fase stasioner yang terjadi pada hari ke-6 hingga hari ke-9.

Pada akhir masa aklimatisasi masing-masing variasi perlakuan mempunyai selisih persentase penyisihan bahan organik yang dilihat melalui pengukuran nilai COD selama tiga hari berturut-turut tidak boleh melebihi 10%, apabila kondisi tersebut dapat dicapai maka dapat dikatakan proses adaptasi mikroorganisme dalam lingkungan baru telah mengalami kondisi *steady state*. Berikut hasil analisis parameter COD selama proses aklimatisasi dapat dilihat pada tabel 3.

Proses penyisihan bahan organik dilakukan selama 9 hari. Berdasarkan data hasil pengamatan penyisihan bahan organik pada keempat variasi perlakuan yang terdapat pada tabel 3. Penyisihan bahan organik yang mengalami kondisi fluktuatif disebabkan karena mikroorganisme belum dapat beradaptasi terutama pada 6 hari pertama yang mana mengalami penurunan dan kenaikan konsentrasi bahan organik sebelum mengalami kondisi yang stabil pada hari ke-7 hingga hari ke-9. Meningkatnya kadar nilai COD sejalan dengan penurunan kadar nilai MLVSS, hal ini disebabkan mikroorganisme mengalami lisis atau rusaknya integritas membran sel dan menyebabkan keluarnya organel sel, sehingga dari peristiwa lisis tersebut dapat meningkatkan kadar nilai COD (Budhi et al, 1999). Penurunan konsentrasi bahan organik terbesar pada keempat reaktor aklimatisasi terjadi pada hari ke-9. Nilai konsentrasi penurunan bahan organik pada reaktor Aklimatisasi I, II, III dan IV berturut-turut yaitu sebesar 62,23 mg/L, 83,41 mg/L, 109,96 mg/L dan 53,63 mg/L.

Tabel 3. Hasil analisis pengujian parameter COD pada proses Aklimatisasi

Hari Ke-n	Perlakuan Penelitian			
	Aklimatisasi II 60 L:40 N (mg/L)	Aklimatisasi II 40 L:60 N (mg/L)	Aklimatisasi III 100% Limbah (mg/L)	Aklimatisasi IV Lumpur RPH + 60 L:40 N (mg/L)
0	545,45	544,41	562,28	584,68
1	470,23	482,04	498,31	467,44
2	340,34	374,23	388,45	332,78
3	278,56	292,84	297,49	262,56
4	214,91	221,60	348,83	227,18
5	254,67	264,52	370,56	154,61
6	160,82	176,90	220,79	158,74
7	120,32	140,44	180,44	119,41
8	89,54	110,36	144,62	82,33
9	62,23	83,41	109,96	51,63

Berdasarkan pada tabel 3 Aklimatisasi I mengalami kondisi *Steady State* atau kondisi dimana mikroorganismenya dapat secara adaptif pada lingkungan baru dengan syarat selisih persentase penyisihan tidak melebihi 10% selama tiga hari berturut-turut terjadi pada hari ke-7, ke-8 dan ke-9 dengan selisih nilai persentase penyisihan berturut-turut sebesar 7,43%, 5,64% dan 5,01%. Pada Aklimatisasi II mengalami kondisi *Steady State* terjadi pada hari ke-7, ke-8 dan ke-9 dengan selisih nilai persentase penyisihan berturut-turut sebesar 6,70%, 5,53% dan 4,95%. Pada Aklimatisasi III mengalami kondisi *Steady State* terjadi pada hari ke-7, ke-8 dan ke-9 dengan selisih nilai persentase penyisihan berturut-turut sebesar 7,18%, 6,37% dan 6,16%. Sedangkan pada Aklimatisasi IV mengalami kondisi *Steady State* terjadi pada hari ke-7, ke-8 dan ke-9 dengan selisih nilai persentase penyisihan berturut-turut sebesar 6,73%, 6,34% dan 5,25%.

Pada keempat reaktor aklimatisasi mengalami peningkatan pH yang mana pH limbah tahu yang awalnya 3 dinetralkan menjadi 7 dengan menggunakan larutan NaOH yang bersifat basa. Peningkatan pH juga terbukti dalam penelitian ini mampu menaikkan biodegradabilitas limbah. Hal

tersebut terjadi karena penambahan larutan basa yang dapat memecah ikatan ester, sehingga memudahkan aksesibilitas enzim untuk menghidrolisis selulosa menjadi glukosa (Taherzadeh and Karimi, 2008).

Running

Transfer oksigen pada air limbah berpotensi memecah endapan-endapan yang menggumpal, dengan demikian proses penyerapan oksigen dan pertumbuhan bakteri aerob yang berperan sebagai pengurai dapat bertumbuh secara baik.

Pada riset ini menggunakan arasi selama 60 jam, hal ini mengacu pada penelitian (Arsawan, I, & Wayan, 2007) bahwa pemberian aerasi selama 50 jam menghasilkan efektivitas yang tinggi terhadap penurunan kadar (*Biological Oxygen Demand*) dan (*Chemical Oxygen Demand*). Berdasarkan teori tersebut artinya semakin lama waktu aerasi yang diberikan pada air limbah maka penurunan nilai BOD dan COD pada air limbah semakin kecil (Arsawan, I, & Wayan, 2007). Berikut hasil Analisis Parameter BOD Pada Peengolahan Utama dapat dilihat pada tabel 4.

Tabel 4. Hasil Analisis Parameter BOD Pada Peengolahan Utama

No	Jam Ke-n	Perlakuan Penelitian			
		Running I 60 L : 40 N (mg/L)	Running II 60 N : 40 L (mg/L)	Running III 100% limbah (mg/L)	Running IV Lumpur RPH + 60 L : 40 N (mg/L)
1.	0	467	467	467	467
2.	24	334,23	346,68	362,28	304,36
3.	48	1662,34	184,77	245,22	131,50
4.	60	72,90	83,84	196,54	46,21

Berdasarkan tabel 4 menunjukkan bahwa pada keempat variasi komposisi mengalami penurunan konsentrasi BOD terbesar pada waktu aerasi 60 jam dengan penurunan terbaik terjadi pada bioreaktor IV dengan nilai konsentrasi sebesar 46,21 mg/L dengan

persentase penyisihan mencapai 90,10%. Sedangkan untuk masing-masing bioreaktor I, II & III memiliki penurunan konsentrasi BOD sebesar 72,90 mg/L, 83,84, dan 196,54 mg/L dengan persentase penyisihan sebesar 84,39%, 82,03% dan 57,91%.

Tabel 5. Hasil Analisis Parameter COD Pada Peengolahan Utama

No	Jam Ke-n	Perlakuan Penelitian			
		Running I 60 L : 40 N	Running II 60 N : 40 L	Running III 100% limbah	Running IV Lumpur RPH + 60 L : 40 N
		mg/L	mg/L	mg/L	mg/L
1.	0	668,2	668,2	668,2	668,2
2.	24	498,56	518,82	538,83	462,68
3.	48	258,64	287,84	472,29	214,30
4.	60	117,56	132,24	302,50	84,14

Berdasarkan tabel 5 menunjukkan Penurunan konsentrasi COD terbesar terjadi pada bioreaktor IV dengan waktu aerasi 60 jam sebesar 84,14 mg/L dengan persentase penyisihan mencapai 87,41%. Sedangkan untuk bioreaktor I memiliki penurunan konsentrasi COD sebesar 117,56 mg/L dengan persentase penyisihan sebesar 82,41%, Untuk bioreaktor II memiliki penurunan konsentrasi COD sebesar 132,24 mg/L dengan persentase penyisihan sebesar 80,21% dan bioreaktor III memiliki penurunan konsentrasi COD sebesar 302,50 mg/L dengan persentase penyisihan sebesar 54,73% sekaligus merupakan efisiensi peyisihan konsentrasi COD terkecil.

Pengolahan pada keempat bioreaktor dengan waktu aerasi 60 jam mempunyai nilai penurunan konsentrasi yang lebih tinggi jika dibandingkan dengan waktu aerasi 24 dan 48 jam. Hal ini disebabkan oleh adanya periode aerob yang lebih lama untuk waktu aerasi 60 jam, sehingga mikroorganisme memiliki waktu yang lebih lama untuk berkembang dan selama proses perkembangannya mikroorganisme membutuhkan sumber karbon yang berasal dari air limbah. Hal tersebut mengakibatkan terjadinya proses degradasi air limbah yang lebih besar, sehingga kadar COD efluen yang dikeluarkan semakin kecil dimana efisiensi penyisihan COD semakin besar (Handayani et al, 2009).

KESIMPULAN

Pada ke empat komposisi mempunyai kemampuan dalam menurunkan nilai beban pencemar BOD dan COD dengan mencapai penyisihan tertinggi pada waktu aerasi 60 jam. Penurunan nilai beban pencemar BOD dan COD tertinggi terjadi pada komposisi IV yaitu dengan nilai penurunan BOD mencapai 46,21 mg/L dengan efektivitas sebesar 90,10% sedangkan untuk penurunan nilai beban pencemar COD mencapai 84,14 mg/L dengan efektivitas sebesar 87,41%. Dari Keempat komposisi yang tidak memenuhi baku mutu berdasarkan Peraturan Menteri Lingkungan Hidup Republik Indonesia Nomor 5 Tahun 2014 ialah komposisi III, sedangkan pada komposisi I, II dan IV telah memenuhi baku mutu air limbah.

Untuk perhitungan laju pertumbuhan spesifik biomassa mikroorganisme pada masing-masing perlakuan yang diukur dengan menggunakan nilai MLVSS (*Mixed Liquid Volatile Suspended Solid*) yaitu pada perlakuan I (2291 mg/L dengan laju pertumbuhan spesifik sebesar 0,042 hari⁻¹), perlakuan II (2115 mg/L dengan laju pertumbuhan spesifik sebesar 0,033 hari⁻¹), perlakuan III (2126 dengan laju pertumbuhan spesifik sebesar 0,022 hari⁻¹), sedangkan pada perlakuan IV dengan laju pertumbuhan spesifik sebesar 0,054 hari⁻¹). Komposisi terbaik yang digunakan dalam pengolahan limbah tahu adalah komposisi pada perlakuan IV yaitu komposisi 60% limbah tahu, 40% nutrisi dan bibit *seeding* dari lumpur Rumah Potong Hewan (RPH). Komposisi IV mempunyai kemampuan terbaik dalam menurunkan nilai COD dan BOD.

UCAPAN TERIMA KASIH

Peneliti mengucapkan terima kasih kepada Pemerintah Daerah Kabupaten Sikka yang turut mendukung dalam pembiayaan penelitian tahun 2021.

DAFTAR PUSTAKA

- Adack, J. (2013). Dampak Pencemaran Limbah Pabrik Tahu Terhadap Lingkungan Hidup. *Lex Administratum*, 1(3).
- Affiah, A. S., & Suryawan, I. W. (2020). Kinetika Penyiisihan COD dan Pertumbuhan Biomassa pada Aplikasi Lumpur Aktif pada Air Limbah Industri Tahu. *Jurnal Ilmu Alam dan Lingkungan*, 11 (1), 47-56. <https://doi.org/10.20956/jal.v11i1.9573>.
- Agung, R. T., & Hanry, W. S. (2010). Pengolahan Air Limbah Industri Tahu Dengan Menggunakan Teknologi Plasma. *Jurnal Ilmiah Teknik Lingkungan*, 2(2). <http://eprints.upnjatim.ac.id/id/eprint/1258>.
- Aini, Sirasih, Made., & Kisworo, Djoko. (2017) Studi Pendahuluan Cemar Air Hewan Di Kota Mataram. *Jurnal Ilmu Lingkungan*, 15(1), 42-48. <https://doi.org/10.14710/jil.15.1.42-48>.
- Arsawan, M., Wayan, B. I, & Wayan, S. (2007). Pemanfaatan Metode Aerasi Dalam Pengolahan Limbah Berminyak Denpasar. *Jurnal Ecotrophic*, 2(2). <https://ojs.unud.ac.id/index.php/ECOTROPIC/article/view/2473>

- Basir, H., Nani, & Silvy, D. (2014). Pilot Project Inkubator Teknologi Industri Tahu Yang Efisien Dan Ramah Lingkungan. Laporan Penelitian. Balai Besar TPPI. Semarang.
- Budhi, Y. B., Setiadi, & T., Harimurti. B. (1999). "Peningkatan Biodegradabilitas Limbah Cair Printing Industri Tekstil Secara Anaerob". Prosiding Seminar Nasional Teknik Kimia Soehadi Reksowardojo. Institut Teknologi Bandung. Bandung, ISSN 0854-7769. 157-164.
- Chojnacka, K. (2010). Bisorbtion and Bioaccumulation The Prospect For Pratical Application. *Environmental International*. Vol. 36. 299-307.
- Fardiaz, S. (1992). Mikrobiologi Pengolahan Pangan. Departemen Pendidikan dan kebudayaan Direktorat Jendral Pendidikan Tinggi Pusat Antar Universitas Pangan dan Gizi Intitut Pertanian Bogor. Bogor.
- Handayani, D., Yulianto, M. E., Arifin, & Arief, B. M. (2009). Pengembangan Squenching Batch Bioreactor Untuk Poduksi Plastik Biodegradable (Polihidroksialkanoat) dari Limbah Cair Industri Tapioka. Simposium Nasional RAPI, 8, 58-63.
- Hermawan, D. W., & Setianingsih, N. L. (2015). Pengolahan Air Limbah Kadar Garam Tinggi Dengan Menggnakan Sistem Lumpur Aktif. *Jurnal Riset*, 6(2). <https://doi.org/10.21771/jrtpi.2015.v6.no2.p45-50>
- Kasa, I. W., Sudaryati, N. L., & Suyasa, I. W. (2012). Pemanfaatan Sedimen Perairan Tercemar Sebagai Bahan Lumpur Aktif Dalam Pengelolaan Limbah Cair Industri Tahu. *Ecotrophic : Jurnal Ilmu Lingkungan* (Journal of Environmental Science), 3(1), 21-29.
- Kesuma, D. D. (2013). Pengaruh Limbah Industri Tahu Terhadap Kualitas Air Sungai Di Kabupaten Klaten, 11-124.
- Kundu, P., A, Dabsarkar., & S, Mukherjee. (2013). Treatment of Slaughter House Wastewater in a sequencing Batch Reactor, Performance evaluation and Biodegradation Kinetics. Hindawi Publishing Corporation, 2. BioMed Research International Article ID134872.
- Levina, E. (2016). Biogas From Tofu Waste or Combating Fuel Crisis And Environmental Damage In Indonesia. *Apec Youth Scientist Journal*, 8(1), 16-21.
- Marsono, D. (1997). Modul Ajar Teknik Pengolahan Air Limbah Secara Biologis. Modul Penelitian Jurusan Teknik Lingkungan. ITS. Surabaya.
- Manender, R. (2010). Pengolahan Limbah Cair Rumah Pematangan Hewan (RPH) Dengan Metode Fotokalitik TiO₂ : Pengaruh Waktu Kontak Terhadap Kualitas BOD₅, COD an pH Efluen, M. K. M. Tesis. Program Studi Kesehatan Masyarakat. Pascasarjana Institut Pertanian Bogor. Bogor.
- Mulyani, H., Sasongko, S. B., & Soetrisnanto, D. (2012). Pengaruh Preklorinasi terhadap Proses Start Up Pengolahan Limbah Cair Tapioka Sistem Anaerobic Baffled Reactor. *Momentum*, 8(1), 21-27.
- Pelczar, M. J., & Chan, E. S. (2007). Dasar-Dasar Mikrobiologi 1, Alih Bahasa: Hadioetomo RS, Imas T, Tijtrosomo SS, dan Angka SL. UI Press. Jakarta.
- Pillay, S., Foxon, K., Rodda, N., Smith, M.T. & Buckley, C.A. (2006). Microbiological Studies of an Anaerobic Baffled Reactor. South African National Research Foundation. University of KwaZulu-Natal.
- Priyatno, A. (1996). Manipulasi Aktivitas Selulolitik Mikroba Rumen Kerbau dan Sapi. Skripsi. Fakultas Peternakan. Institut Pertanian Bogor. Bogor.
- Ratnani, R. D. (2011). Kecepatan Penyerapan Zat Organik Pada Limbah Cair Industri Tahu Dengan Lumpur Aktif. *Momentum*, 7(2), 18-24.
- Reiny, S. S. (2012). Potensi *Lactobacillus acidophilus* ATCC 4796 sebagai biopreservatif Pada rebusan Daging Ikan Tongkol. *Jurnal IJAS*, 2(2), 604-613.
- Romli, M., & Suprihatin, D. S. (2004). Penentuan Nilai Parameter Kinetika Lumpur Aktif Untuk Pengolahan Air Lindi Samah (Lachate). *Jurnal Teknoloi Industri Pertanian*.
- Schnurer, A., & Jarvis, A. (2009). Microbiological Handbook For Biogas Plants.
- Suryawan, I. W., Siregar, M. J., Prajati, G., & Afifah, A. S. (2019). Integrated Ozone and Anoxic-Aerobic Activated Sludge Reactor for Endek (Balinese Textile) Wastewater Treatment. *Journal of Ecological nggineerin*, 20(7).
- Taherzadeh, M. J., & Karimi, K. (2008). "Pretreatment Of Lignocellulosic Wastes To Improve Ethanol And Biogas Production": *A review*", *int. j.Mol.Sci*, 9, 1621-1651.
- Tantrip, R. & Thungkao, S. (2011). Isolation Proteolytic, Lipolytic, and Bioemulsifying Bacteria for Improvement of the Aerobic Treatment of Poultry Processing Wastewater. *African Journal of Microbiologi Research*, 5(30).
- Wang, Y., & Serventi, L. (2009). Sustainability Of Dairy and Soy Processing: *A Riview on Wastewater Recycling*. *Journal of Cleaner Production*.
- Yuliana. (2008). Kinetika Pertumbuhan Bakteri AsamLaktat Isolay T5 Yang Berasal Dari Tempoyak. *Jurnal Teknologi Dan Hasil Pertanian*, 73(2).
- Yudhistira, B., Andriani, M., & Utami, R. (2016). Karakterisasi Limbah Cair Industri Tahu Dengan Koagulan Yang Berbeda (Asam Asetat dan Kalsium Sulfat). Caraka Tani. *Journal of Sustainable Agriculture*, 31(2), 137-145.
- Zulaika. E., Arif , L., Tutut, A., & Umi, S. (2012). Bakteri Resisten Logam Berat.