

JURNAL

PEMANFAATAN LUMPUR AKTIF UNTUK MENURUNKAN SENG (Zn) DALAM LIMBAH CAIR PEWARNA INDIGOSOL PADA INDUSTRI BATIK DENGAN PENAMBAHAN BAKTERI INDIGENUS

**Disusun Oleh:
Novia Hertiyani
NPM: 120801276**



**UNIVERSITAS ATMA JAYA YOGYAKARTA
FAKULTAS TEKNOBIOLOGI
PROGRAM STUDI BIOLOGI
YOGYAKARTA
2016**

PEMANFAATAN LUMPUR AKTIF UNTUK MENURUNKAN SENG (Zn) DALAM LIMBAH CAIR PEWARNA INDIGOSOL PADA INDUSTRI BATIK DENGAN PENAMBAHAN BAKTERI INDIGENUS

Utilization of Activated Sludge to Reduce Zinc (Zn) in Wastewater of Indigosol Dyes on Batik Industry with The Addition of Indigenous Bacteria

Novia Hertiyani¹, Indah Muwarni Yulianti², Wibowo Nugroho Jati³

*Fakultas Teknobiologi,
Universitas Atma Jaya Yogyakarta,
Jl. Babarsari No.44, Sleman, Yogyakarta,
noviahertiyani@gmail.com*

INTISARI

Limbah cair industri batik mengakibatkan dampak negatif bagi lingkungan. Limbah cair industri batik merupakan limbah berwarna yang dapat menyebabkan gangguan kesehatan terhadap manusia dan dapat meracuni biota air. Bioremediasi merupakan salah satu cara untuk mendegradasi limbah dengan menggunakan mikrobia. Penelitian ini dilakukan untuk mengetahui kemampuan bakteri indigenus dalam meremidiasi limbah cair pewarna indigosol abu-abu pada industri batik melalui metode lumpur aktif. Isolasi dan karakterisasi bakteri dari limbah cair indigosol abu-abu menghasilkan 2 isolat dominan yang masing-masing dinamakan bakteri NH. Isolat bakteri NH 1 cenderung termasuk genus *Bacillus* dan NH 2 cenderung termasuk genus *Pseudomonas*. Hasil yang diperoleh setelah 14 hari proses degradasi limbah cair indigosol abu-abu adalah seluruh perlakuan beserta kontrol dapat melakukan remediasi limbah cair indigosol abu-abu, hanya saja memiliki kemampuan yang berbeda-beda. Kemampuan remediasi masing-masing isolat bakteri diukur berdasarkan parameter BOD (*Biological Oxygen Demand*), TSS (*Total Suspended Solid*), TDS (*Total Dissolved Solid*), pH, suhu, dan logam berat Zn (Seng). NH campuran dianggap paling efektif mendegradasi limbah cair indigosol abu-abu. NH campuran mampu menurunkan konsentrasi BOD sebesar 75,36%, TSS sebesar 94,13%, TDS sebesar 73,03%, logam berat Zn sebesar 71,88% serta meningkatkan pH sebesar 34,60% dan suhu sebesar 3,46%.

Kata kunci: Limbah cair industri batik, limbah cair indigosol, lumpur aktif, bakteri indigenus, bioremediasi

ABSTRACT

Batik industrial wastewater resulting in negative impacts on the environment. Batik industrial wastewater is a colored waste which can cause health problems in humans and can be toxic to aquatic biota. Bioremediation is one of ways to degrade the wastewater using microbes. This study was conducted to determine the ability of indigenous bacteria to remediate gray indigosol dyes wastewater on batik industry through the activated sludge method. Isolation and characterization of bacteria from gray indigosol wastewater results two dominant isolates each bacteria called NH. Bacterial isolates NH 1 are similar to genus *Bacillus* and NH 2 are similar to genus *Pseudomonas*. The results obtained after 14 days of degradation process of gray indigosol wastewater that all treatments as well as controls can perform remediation of gray indigosol liquid waste, it just that each of the treatments have different abilities. The remediation capability of each isolates measured by BOD (*Biological Oxygen Demand*), TSS (*Total Suspended Solid*), TDS (*Total Dissolved Solid*), pH, temperature, and heavy metals Zn (Zinc). NH compound is considered the most effective to degrades liquid waste from gray indigosol. NH compound can reduce BOD concentration to 75.36%, TSS to 94.13%, TDS to 73.03%, heavy metals Zn to 71.88% and increase pH to 34.60% and temperature by 3.46%.

Keywords : Batik industry wastewater, indigosol wastewater, activated sludge, indigenous bacteria, bioremediation

PENDAHULUAN

Batik merupakan salah satu kekayaan budaya bangsa Indonesia yang telah mendapat pengakuan internasional dari UNESCO pada tahun 2009. Pencanangan hari batik nasional berperan meningkatkan minat pemakai batik. Industri batik di Indonesia umumnya merupakan industri/usaha kecil menengah (UKM) yang menjadi mata pencaharian sebagian masyarakat (Ninggar, 2014). Suksesnya perdagangan batik di Indonesia menimbulkan persoalan lingkungan tersendiri. Salah satu contoh zat warna yang banyak digunakan industri tekstil adalah indigosol.

Pewarna jenis indigosol sering digunakan karena menghasilkan warna yang cerah dan tidak mudah memudar. Namun air bekas cucuannya dapat mengakibatkan gangguan terhadap lingkungan. Limbah batik yang mengandung senyawa indigosol sangat berbahaya, karena dapat menyebabkan beberapa dampak yang buruk bagi kesehatan. Zat warna ini dapat mengakibatkan penyakit kulit dan yang sangat membahayakan, dapat mengakibatkan kanker kulit (Sugiharto, 1987).

Dari aspek penggunaan bahan kimia, industri batik merupakan industri yang potensial menghasilkan limbah yang mengandung logam berat yang dikategorikan sebagai limbah berbahaya sehingga dapat menyebabkan pencemaran lingkungan (Ninggar, 2014). Beberapa jenis zat pewarna yang berasal dari proses pencelupan kain batik mengandung logam berat, salah satunya adalah seng (Zn). Keberadaan logam berat seng (Zn) di dalam air yang melampaui batas dapat menyebabkan gangguan kesehatan terhadap manusia yang mengkonsumsinya. Walaupun seng merupakan logam yang dibutuhkan oleh tubuh namun berbahaya jika melebihi ambang batas dan dapat menimbulkan rasa kesat pada air dan dapat menimbulkan gejala muntaber (Effendi, 2003).

Pengolahan limbah cair pewarna indigosol telah banyak dilakukan baik secara fisika maupun kimia. Salah satu pengolahan limbah yang dilakukan secara biologi yaitu dengan bioremediasi. Bioremediasi merupakan proses pemulihan secara biologi terhadap komponen lingkungan yang tercemar (Baker dan Herson, 1994). Teknik lumpur aktif merupakan salah satu teknik bioremediasi yang banyak digunakan dalam industri, lumpur aktif adalah masa biologik kompleks yang dihasilkan bila limbah organik diberi penanganan secara aerobik (Jenie dan Rahayu, 1993). Pada penelitian ini dilakukan isolasi bakteri indigenus dan pengujian kemampuan dari bakteri indigenus yang terdapat pada limbah cair pewarna indigosol menggunakan lumpur aktif.

METODE PENELITIAN

Penelitian ini merupakan penelitian eksperimental yang telah dilaksanakan pada bulan Februari hingga Juni 2016. Penelitian dilaksanakan di Laboratorium Teknobiologi Industri dan Laboratorium Pengolahan Limbah, Fakultas Teknobiologi Universitas Atma Jaya Yogyakarta. Pengambilan sampel dilakukan di Batik Winotosastro yang terletak di kota Yogyakarta. Pengujian logam Zn (Seng), BOD, dan TSS dilakukan di Laboratorium Fisika Kimia Air, Balai Besar Teknik Kesehatan Lingkungan dan Pengendalian Penyakit Yogyakarta. Dalam penelitian ini digunakan Rancangan Acak Lengkap (RAL) dengan variasi penambahan isolat bakteri yaitu

isolat bakteri 1 (NH 1), isolat bakteri 2 (NH 2), dan isolat bakteri campuran (campuran NH 1 dan NH 2). Setiap perlakuan dilakukan 3 kali ulangan.

Tahapan penelitian terdiri dari 7 tahapan utama yaitu pengambilan sampel limbah cair pewarna indigosol abu-abu dan karakterisasi sampel (parameter BOD, TDS, TSS, pH, Suhu dan logam Zn), isolasi mikroba, karakterisasi dan identifikasi bakteri dominan, pembuatan starter, pengolahan limbah menggunakan lumpur aktif, uji aktivitas degradasi (parameter seperti karakterisasi awal), dan analisis data menggunakan ANOVA serta untuk mengetahui letak beda nyata antar perlakuan digunakan *Duncan Multiple Range Test* (DMRT) dengan tingkat kepercayaan 95 %.

HASIL DAN PEMBAHASAN

A. Isolasi dan Pemurnian Bakteri Dominan

Isolasi mikroba dalam penelitian ini diambil langsung dari limbah indigosol abu-abu pada industri batik. Dalam isolasi mikroba, dibuat seri pengenceran dari 10^{-1} hingga 10^{-8} . Penentuan koloni bakteri dominan dihitung dengan menggunakan metode *plate count* serta dilihat dari keseragaman bentuk, warna, tepian, elevasi, dan jumlah koloni.

Isolat bakteri dominan diambil dari seri pengenceran 10^{-3} , isolat bakteri dominan 1 diberi nama NH 1 sedangkan isolat bakteri dominan 2 diberi nama NH 2. Isolat NH 1 memiliki koloni berjumlah 101 sedangkan isolat NH 2 berjumlah 90 koloni. Koloni bakteri NH 1 yang teramati berwarna putih kekuningan, berbentuk *circulair*, elevasi *raised*, dan tepian *entire*, bakteri NH 2 berwarna putih, berbentuk *curled*, elevasi *low convex*, dan tepian *undulate*. Sebelum dilakukan karakterisasi, perlu dilakukan pemurnian isolat. Isolat NH 1 dan NH 2 di subkultur sebanyak 3 kali, kedua isolat bakteri murni dapat dilihat pada Gambar 1.



Gambar 1. Isolat Murni NH 1 (Kiri) Berwarna Putih Kekuningan dan Isolat Murni NH 2 (Kanan) Berwarna Putih.

B. Karakterisasi dan Identifikasi Bakteri Dominan

Isolat murni bakteri NH 1 dan NH 2 selanjutnya dikarakterisasi. Karakterisasi yang dilakukan terbagi menjadi 2 yaitu karakterisasi morfologi dan pengujian fisiologi dengan reaksi biokimia. Karakterisasi morfologi meliputi pengamatan morfologi sel bakteri (pengecatan gram dan bentuk sel), pengamatan morfologi koloni bakteri, dan uji motilitas. Adapun pengujian fisiologi dengan reaksi biokimia terdiri dari uji fermentasi karbohidrat, uji katalase, uji pembentukan indol, dan uji reduksi nitrat. Hasil karakterisasi isolat bakteri NH 1 dan NH 2 ditunjukkan pada Tabel 1.

Berdasarkan hasil karakterisasi yang telah dilakukan, maka dapat diperkirakan jenis bakteri dari kedua isolat tersebut menggunakan *Bergey's Manual of determinative Bacteriology 7th Edition*. Isolat NH 1 memiliki sifat menyerupai genus *Bacillus* dan isolat NH 2 memiliki sifat menyerupai genus *Pseudomonas*. Kedua genus bakteri ini merupakan bakteri yang sering ditemukan di daerah yang terdapat limbah batik dan terbukti mampu mendegradasi limbah batik.

Seperti pada penelitian yang dilakukan Nurbidayah dkk (2014), yang telah melakukan biodegradasi pada limbah cair industri kain batik Sasirangan. Ditemukan 3 isolat bakteri yaitu *Bacillus subtilis*, *Staphylococcus aureus*, dan *Pseudomonas putida* yang memiliki kemampuan yang tinggi dalam mendegradasi zat warna. Astirin dan Winarno (2000) juga melakukan penelitian perbaikan kualitas dan dekolorisasi limbah cair industri batik tradisional menggunakan *Pseudomonas sp.* *Pseudomonas sp.* yang berasal dan hidup pada limbah cair industri batik dapat menurunkan BOD₅ dan COD limbah.

Tabel 1. Hasil Karakterisasi Isolat Bakteri dari Limbah Cair Pewarna Indigosol

Karakterisasi		Isolat Bakteri NH 1	Isolat Bakteri NH 2	
Morfologi Sel	Pengecatan Gram	Gram positif	Gram negatif	
	Bentuk	<i>Coccus</i>	<i>Coccus</i>	
Morfologi Koloni	Warna	Putih kekuningan	Putih	
	Bentuk	<i>Circular</i>	<i>Curled</i>	
	Tepi	<i>Entire</i>	<i>Undulate</i>	
	Elevasi	<i>Raised</i>	<i>Low Convex</i>	
	Motilitas	Motil	Motil	
Uji Sifat Biokimia	Fermentasi Karbohidrat	Glukosa	+ (A)	-
		Sukrosa	+ (A)	-
		Laktosa	-	-
	Reduksi Nitrat		+	+
	Pembentukan Indol		+	+
	Katalase		+	+

Keterangan : (+) Positif; (-) Negatif; (A) Asam tanpa gas

C. Kualitas Limbah Cair Indigosol Abu-abu

Limbah cair pewarna indigosol abu-abu yang digunakan dalam penelitian ini adalah limbah cair yang berasal dari industri batik Winotosastro yang berada di Yogyakarta. Pengukuran beban cemaran perlu dilakukan sebelum sampel limbah diremediasi, sehingga dapat dibandingkan kualitas limbah sebelum dan setelah pengolahan menggunakan metode lumpur aktif. Pengukuran kualitas sampel limbah berupa kadar BOD (*Biological Oxygen Demand*), kadar TDS (*Total Dissolved Solid*), kadar TSS (*Total Suspended Solid*), derajat keasaman (pH), serta suhu berdasarkan peraturan BLH Propinsi DIY (2010), sedangkan kadar logam Zn (Seng) berdasarkan Pemerintah Republik Indonesia (2001).

Kadar BOD pada limbah indigosol abu-abu sebesar 800 mg/L dengan baku mutu 50 mg/L. Kadar TDS sebesar 7410 mg/L dengan baku mutu 1000 mg/L. Kadar TSS sebesar 204 mg/L dengan baku mutu 200 mg/L. Kadar pH sebesar 6,87 dengan baku mutu 6.0-9.0. Kadar temperatur 27°C dengan baku mutu $\pm 3^{\circ}\text{C}$ thd suhu udara dan kadar logam Zn sebesar 4,1960 mg/L dengan baku mutu 2 mg/L. Kualitas limbah cair yang buruk jika tidak diolah terlebih dahulu sebelum dibuang ke lingkungan tentunya dapat memberikan dampak yang buruk bagi lingkungan.

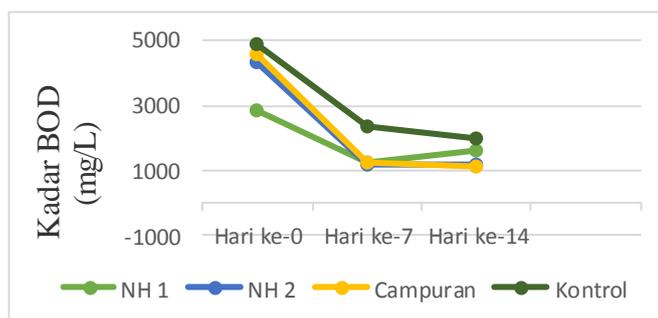
D. Pengukuran Aktivitas Degradasi

1. BOD (*Biological Oxygen Demand*)

Hasil pengukuran BOD oleh keempat perlakuan (NH 1, NH 2, Campuran, dan Kontrol) selama 14 hari dapat dilihat pada Gambar 2, keempat perlakuan mengalami penurunan pada hari ke-0 hingga hari ke-14. Perlakuan pertama dengan penambahan isolat bakteri NH 1 pada hari ke-0 memiliki kadar BOD sebesar 2866,67 mg/L, pada hari ke-7 mengalami penurunan menjadi 1266,67 mg/L, pada hari ke-14 mengalami penurunan lagi menjadi 1600 mg/L. Perlakuan kedua dengan penambahan isolat bakteri NH 2 pada hari ke-0 memiliki kadar BOD sebesar 4333,33 mg/L, pada hari ke-7 mengalami penurunan menjadi 1191,67 mg/L, pada hari ke-14 mengalami penurunan lagi menjadi 1166,67 mg/L.

Perlakuan ketiga merupakan penambahan kultur campuran yang berasal dari isolat bakteri NH 1 dan NH 2 pada hari ke-0 memiliki kadar BOD sebesar 4600 mg/L, pada hari ke-7 mengalami penurunan menjadi 1241,67 mg/L, pada hari ke-14 mengalami penurunan lagi menjadi 1133,33 mg/L. Perlakuan keempat merupakan kontrol tanpa penambahan isolat bakteri NH 1 dan NH 2 pada hari ke-0 memiliki kadar BOD sebesar 4866,67 mg/L, pada hari ke-7 mengalami penurunan menjadi 2366,67 mg/L, pada hari ke-14 mengalami penurunan lagi menjadi 2000 mg/L.

Penurunan kadar BOD ini disebabkan adanya proses aerasi dari pembibitan lumpur aktif sehingga menghasilkan komposisi lumpur aktif yang sempurna. Selain itu juga aerasi merupakan salah satu usaha dari pengambilan zat pencemar sehingga zat pencemar akan berkurang atau bahkan dapat dihilangkan sama sekali (Rachma, 2012). Pengaturan lama waktu kontak yang tepat (Sugiharto, 1987) akan memberikan kesempatan bakteri dalam proses dekomposisi limbah cair secara sempurna dalam mendegradasi limbah.



Gambar 2. Kurva Penurunan Kadar BOD Selama 2 Minggu Aktivitas Degradasi

Penurunan kadar BOD terbaik adalah pada perlakuan ketiga dengan penambahan isolat bakteri NH 1 dan NH 2 (campuran) menjadi 1133,33 mg/L (75,36%). Hal ini disebabkan oleh karena asosiasi sinergis memberikan kemampuan pada kombinasi populasi mikroba untuk melakukan sintesa suatu produk yang tidak bisa dilakukan oleh mikroba tunggal (Atlas dan Bartha, 1981). Namun kadar BOD tersebut masih di atas baku mutu, hal tersebut dapat terjadi disebabkan oleh kepadatan populasi mikrobia yang sedikit, beban pencemaran yang terlalu besar, serta nutrisi bagi mikroba yang tidak mencukupi kebutuhan.

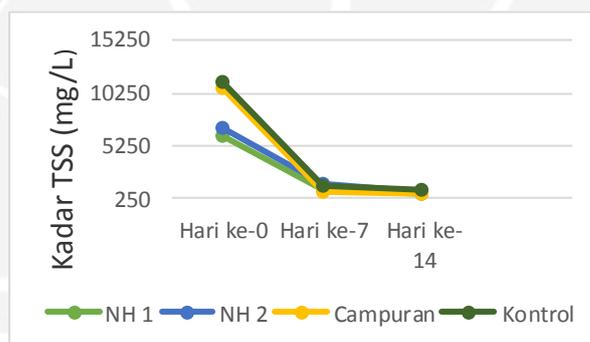
2. TSS (*Total Suspended Solid*)

Hasil proses biodegradasi senyawa-senyawa organik yang dilakukan oleh keempat perlakuan (NH 1, NH 2, Campuran dan Kontrol) selama 2 minggu disajikan dalam Gambar 3. Perlakuan pertama dengan penambahan isolat bakteri NH 1 pada hari ke-0 memiliki kadar TSS sebesar 6213,33 mg/L, pada hari ke-7 mengalami penurunan menjadi 1078,33 mg/L, pada hari ke-14 mengalami penurunan lagi menjadi 797 mg/L. Perlakuan kedua dengan penambahan isolat bakteri NH 2 pada hari ke-0 memiliki kadar TSS sebesar 6960 mg/L, pada hari ke-7 mengalami penurunan menjadi 1621,67 mg/L, pada hari ke-14 mengalami penurunan lagi menjadi 875,67 mg/L.

Perlakuan ketiga merupakan penambahan kultur campuran yang berasal dari isolat bakteri NH 1 dan NH 2 pada hari ke-0 memiliki kadar TSS sebesar 10726,67 mg/L, pada hari ke-7 mengalami penurunan menjadi 861,33 mg/L, pada hari ke-14 mengalami penurunan lagi

menjadi 630 mg/L. Perlakuan keempat merupakan kontrol tanpa penambahan isolat bakteri NH 1 dan NH 2 pada hari ke-0 memiliki kadar TSS sebesar 11370 mg/L, pada hari ke-7 mengalami penurunan menjadi 1393,33 mg/L, pada hari ke-4 mengalami penurunan lagi menjadi 1078,33 mg/L.

Peningkatan efisiensi reduksi TSS (Yazid dkk., 2012) dapat dihubungkan dengan ketersediaan nutrisi sebagai bahan makanan bagi bakteri. Sehingga aktifitas metabolisme bakteri pun meningkat dan proses degradasi limbah dapat berlangsung lebih baik. Konsentrasi padatan tersuspensi limbah cair menurun dengan adanya penambahan isolat bakteri. Penurunan konsentrasi tersebut dapat disebabkan oleh adanya aktivitas bakteri dalam merombak bahan organik yang tersuspensi sebagai bahan dasar untuk energi (Gintings, 1992).



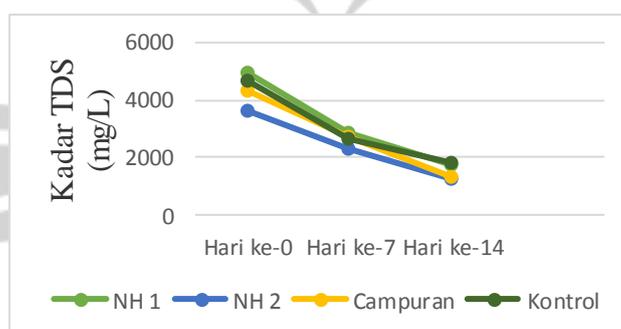
Gambar 3. Kurva Penurunan Kadar TSS Selama 2 Minggu Aktivitas Degradasi

Proses penurunan konsentrasi TSS terbaik dilakukan pada perlakuan ketiga dengan penambahan isolat campuran yang mengalami penurunan menjadi 630 mg/L (94,13%). Namun kadar TSS tersebut masih di atas baku mutu limbah, hal tersebut dapat terjadi disebabkan oleh kehadiran bakteri itu sendiri juga mempengaruhi konsentrasi padatan tersuspensi karena ukuran sel bakteri termasuk kedalam kategori partikel tersuspensi halus (McKinney, 1965). Hal inilah yang menyebabkan konsentrasi padatan tersuspensi masih berada di atas baku mutu yang telah ditetapkan.

3. TDS (*Total Dissolved Solid*)

Pada penelitian yang telah dilakukan selama 14 hari, menunjukkan bahwa terjadi penurunan kadar TDS pada keempat perlakuan (Gambar 4). perlakuan pertama dengan penambahan isolat bakteri NH 1 pada hari ke-0 memiliki kadar TDS sebesar 4943,33 mg/L, pada hari ke-7 mengalami penurunan menjadi 2860 mg/L, pada hari ke-14 mengalami penurunan lagi menjadi 1743,33 mg/L. Perlakuan kedua dengan penambahan isolat bakteri NH 2 pada hari ke-0 memiliki kadar TDS sebesar 3610 mg/L, pada hari ke-7 mengalami penurunan menjadi 2286,67 mg/L, pada hari ke-14 mengalami penurunan lagi menjadi 1255,33 mg/L.

Perlakuan ketiga merupakan penambahan kultur campuran yang berasal dari isolat bakteri NH 1 dan NH 2 pada hari ke-0 memiliki kadar TDS sebesar 4346,67 mg/L, pada hari ke-7 mengalami penurunan menjadi 2710 mg/L, pada hari ke-14 mengalami penurunan lagi menjadi 1366,67 mg/L. Perlakuan keempat merupakan kontrol tanpa penambahan isolat bakteri NH 1 dan NH 2 pada hari ke-0 memiliki kadar TDS sebesar 4680 mg/L, pada hari ke-7 mengalami penurunan menjadi 2693,33 mg/L, pada hari-14 mengalami penurunan lagi menjadi 1823,33 mg/L.



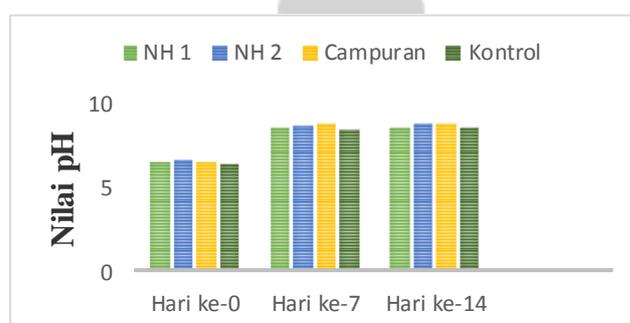
Gambar 4. Kurva Penurunan Kadar TDS Selama 2 Minggu Aktivitas Degradasi

Nilai TDS pada limbah *inlet* lebih besar daripada nilai TDS pada limbah *outlet*. Dorajadkk (2012) mengatakan hal ini disebabkan karena proses aerasi menggunakan lumpur aktif menghasilkan lumpur pada (sedimentasi). Lumpur tersebut dengan gaya beratnya sendiri akan turun secara gravitasi ke bagian bawah tangki sebagai lumpur, sehingga nilai TDS menjadi lebih kecil.

Penurunan konsentrasi TDS terbaik dilakukan pada perlakuan ketiga dengan penambahan isolat campuran yang mengalami penurunan menjadi 1366,67 mg/L (73,03%). Namun kadar TDS tersebut masih di atas baku mutu, tingginya kadar TDS ini menurut Sutrisno (1991) dan Effendi (2003) diduga akibat tingginya kandungan bahan organik beserta hasil penguraiannya, mineral dan garam-garam yang terlarut didalam air limbah. TDS ini terdiri dari senyawa organik dan anorganik.

4. Derajat Keasaman (pH)

Hasil pengukuran pH pada keempat perlakuan mengalami peningkatan, disajikan pada Gambar 5. perlakuan pertama dengan penambahan isolat bakteri NH 1 pada hari ke-0 memiliki nilai pH sebesar 6,57, pada hari ke-7 mengalami peningkatan menjadi 8,54, pada hari ke-14 mengalami peningkatan lagi menjadi 8,63. Perlakuan kedua dengan penambahan isolat bakteri NH 2 pada hari ke-0 memiliki nilai pH sebesar 6,63, pada hari ke-7 mengalami peningkatan menjadi 8,70, pada hari ke-14 mengalami peningkatan lagi menjadi 8,77. Perlakuan ketiga merupakan penambahan kultur campuran yang berasal dari isolat bakteri NH 1 dan NH 2 pada hari ke-0 memiliki nilai pH sebesar 6,56, pada hari ke-7 mengalami peningkatan menjadi 8,79, pada hari ke-14 mengalami peningkatan lagi menjadi 8,83. Perlakuan keempat merupakan kontrol tanpa penambahan isolat bakteri NH 1 dan NH 2 pada hari ke-0 memiliki nilai pH sebesar 6,42, pada hari ke-7 mengalami peningkatan menjadi 8,45, pada hari-14 mengalami peningkatan lagi menjadi 8,55.



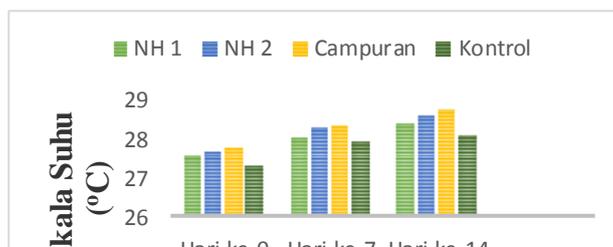
Gambar 5. Grafik Peningkatan Nilai pH Selama 2 Minggu Aktivitas Degradasi

Alaerts dan Santika (1984) mengatakan bahwa dari reaksi-reaksi perombakan bahan organik secara aerob maupun secara anaerob akan menghasilkan CO₂ yang selanjutnya CO₂ dalam air akan membentuk karbonat. Pembentukan karbonat dalam air akan menaikkan alkalinitas dari air/limbah tersebut. Faktor lain yang mampu mengubah nilai pH adalah reaksi biologis (proses penguraian) yang terjadi oleh mikroorganisme terhadap nutrien yang diberikan yaitu urea dan glukosa, peningkatan nilai pH dari netral menjadi basa ini disebabkan oleh adanya masukan bahan nutrien yang sebagian besar bersifat basa ke dalam lumpur aktif. Berdasarkan hasil yang telah diperoleh, peningkatan nilai pH tertinggi terjadi pada perlakuan ketiga dengan penambahan isolat campuran yaitu sebesar 34,60% (nilai pH 8,83). Meskipun mengalami peningkatan nilai pH yang cukup tinggi. Nilai tersebut tersebut masih berada dalam rentang yang telah ditetapkan.

5. Suhu

Hasil pengukuran suhu pada keempat perlakuan mengalami peningkatan, disajikan pada gambar 6. Perlakuan pertama dengan penambahan isolat bakteri NH 1 pada hari ke-0 memiliki skala suhu sebesar 27,57°C, pada hari ke-7 mengalami peningkatan menjadi 28°C, pada hari ke 14 mengalami peningkatan lagi menjadi 28,4°C.

Perlakuan kedua dengan penambahan isolat bakteri NH 2 pada hari ke-0 memiliki skala suhu sebesar 27,67 °C, pada hari ke-7 mengalami peningkatan menjadi 28,27°C, pada hari ke-14 mengalami peningkatan lagi menjadi 28,57°C. Perlakuan ketiga merupakan penambahan kultur campuran yang berasal dari isolat bakteri NH 1 dan NH 2 pada hari ke-0 memiliki skala suhu sebesar 27,77°C, pada hari ke-7 mengalami peningkatan menjadi 28,33°C , pada hari ke- 14 mengalami peningkatan lagi menjadi 28,73°C. Perlakuan keempat merupakan kontrol tanpa penambahan isolat bakteri NH 1 dan NH 2 pada hari ke-0 memiliki skala suhu sebesar 27,3°C, pada hari ke-7 mengalami peningkatan menjadi 27,9°C, pada hari-14 mengalami peningkatan lagi menjadi 28,1°C.



Gambar 6. Grafik Peningkatan Skala Suhu Selama 2 Minggu Aktivitas Degradasi

Peningkatan suhu yang terjadi pada keempat perlakuan disebabkan karena seiring meningkatnya aktivitas mikroorganisme untuk melakukan proses penguraian bahan organik di dalam perairan menimbulkan energi kemudian menyebabkan suhu dalam air limbah industri meningkat. Selain itu, kenaikan suhu akan meningkatkan kecepatan reaksi kimia di dalam perairan (Fardiaz, 1992). Pada penelitian yang dilakukan oleh Suriani dkk (2013) terlihat pada isolat bakteri dimana laju pertumbuhannya meningkat seiring dengan peningkatan suhu. Jika suhu lingkungan lebih kecil dari suhu minimum atau lebih besar dari suhu maksimum pertumbuhannya maka aktivitas enzim akan terhenti bahkan pada suhu yang terlalu tinggi akan terjadi denaturasi enzim.

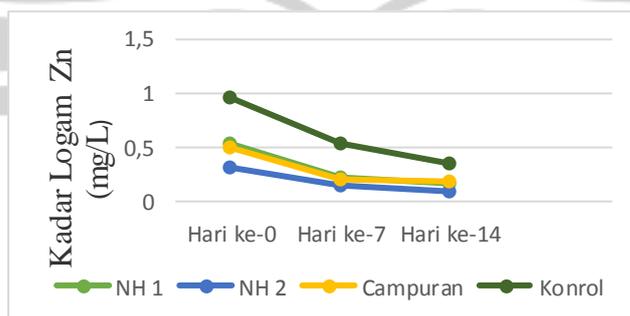
Berdasarkan hasil yang telah diperoleh, peningkatan suhu tertinggi terjadi pada perlakuan ketiga dengan penambahan isolat campuran yaitu sebesar $28,73^{\circ}\text{C}$ (3,46%). Meskipun mengalami peningkatan suhu yang cukup tinggi. Nilai tersebut tersebut masih berada dalam rentang yang telah ditetapkan dalam baku mutu.

6. Logam Berat Zn

Pada penelitian yang telah dilakukan selama 14 hari, menunjukkan bahwa terjadi penurunan kadar logam berat Zn (gambar 7). Perlakuan pertama dengan penambahan isolat bakteri NH 1 pada hari ke-0 memiliki kadar logam berat Zn sebesar 0,53 mg/L, pada hari ke-7 mengalami penurunan menjadi 0,22 mg/L, pada hari ke-14 mengalami penurunan lagi menjadi 0,17 mg/L. Perlakuan kedua dengan penambahan isolat bakteri NH 2 pada hari ke-0 memiliki kadar logam berat Zn sebesar 0,32 mg/L, pada hari ke-7 mengalami penurunan menjadi 0,15 mg/L, pada hari ke-14 mengalami penurunan lagi menjadi 0,09 mg/L.

Perlakuan ketiga merupakan penambahan kultur campuran yang berasal dari isolat bakteri NH 1 dan NH 2 pada hari ke-0 memiliki kadar logam berat Zn sebesar 0,51 mg/L, pada hari ke-7 mengalami penurunan menjadi 0,20 mg/L, pada hari ke-14 mengalami penurunan lagi menjadi 0,18 mg/L. Perlakuan keempat merupakan kontrol tanpa penambahan isolat bakteri NH 1 dan NH 2 pada hari ke-0 memiliki kadar logam berat Zn sebesar 0,96 mg/L, pada hari ke-7 mengalami penurunan menjadi 0,53 mg/L, pada hari-14 mengalami penurunan lagi menjadi 0,35 mg/L.

Berdasarkan hasil yang diperoleh terlihat bahwa sejak hari ke-0 kadar logam berat Zn sudah rendah. Padahal dapat dilihat pada pembahasan bagian C mengenai kualitas limbah cair indigosol abu-abu sebelum aktivitas degradasi (limbah murni), kadar Zn mencapai 4,1960 mg/L dimana kadar tersebut melebihi baku mutu untuk pengelolaan kualitas air dan pengendalian pencemaran air yang telah ditetapkan oleh Pemerintah Republik Indonesia yaitu sebesar 2 mg/L. Hal ini dapat terjadi dikarenakan setiap kali proses pewarnaan batik dengan pewarna indigosol memiliki takaran yang tidak sama, semakin banyak kain yang akan diwarnai maka semakin banyak pula pewarna indigosol ditambahkan sehingga kadar logam berat Zn pun meningkat. Meskipun pada hari ke-0 kadar logam berat Zn pada keempat perlakuan sudah rendah namun masih terjadi penurunan hingga hari ke-14 (Gambar 7).



Gambar 7. Kurva Penurunan Kadar Logam Zn Selama 2 Minggu Aktivitas Degradasi

Perlakuan dengan penambahan isolat bakteri NH 2 merupakan perlakuan terbaik karena mengalami penurunan paling tinggi yaitu sebesar 71,77%. NH 2 termasuk dalam genus *Pseudomonas* (gram negatif). Hughes dan Poole (1989) menyatakan bahwa bakteri

Gram negatif umumnya lebih toleran terhadap pengaruh logam berat dibandingkan bakteri Gram positif. Hal ini disebabkan oleh karena struktur dinding selnya yang kompleks di mana dapat mengikat dan mengimobilisasi sebagian besar ion logam. Logam-logam tersebut terikat pada gugus karboksil pada rantai peptida dari peptidoglikan dan gugus fosfat dari lipopolisakarida.

Salimin dan Nuraeni (2016) mengatakan bahwa bakteri memakan zat organik, tumbuh dan berkembang biak sangat cepat membentuk biomassa bakteri yang berkomposisi *Extracellular Polymeric Substance* (EPS). Zat organik terurai menjadi CO₂ dan H₂O, EPS pada biomassa bakteri melakukan biosorpsi logam berat sehingga terjadi flokulasi dan presipitasi karena gaya gravitasi membentuk *sludge* atau lumpur aktif. Penurunan kadar logam berat Zn terbaik dilakukan pada perlakuan kedua dengan penambahan isolat NH 2 yang mengalami penurunan menjadi 0,09 mg/L (71,88%), kadar logam Zn tersebut sudah berada di bawah baku mutu

KESIMPULAN DAN SARAN

Kesimpulan yang dapat ditarik dari penelitian ini adalah:

1. Bakteri indigenus dominan yang ditemukan pada limbah cair indigosol abu-abu ialah isolat NH 1 yang menyerupai genus *Bacillus* dan isolat NH 2 yang menyerupai genus *Pseudomonas*.
2. Lumpur aktif dengan penambahan isolat campuran mampu melakukan bioremediasi dengan menurunkan kadar BOD sebesar 75,36%, TSS sebesar 94,13%, TDS sebesar 73,03%, serta meningkatkan nilai pH sebesar 34,60% dan suhu sebesar 3,46%. Penambahan isolat NH 2 mengalami penurunan kadar logam Zn tertinggi yaitu sebesar 71,88%.
3. Isolat bakteri campuran cenderung lebih baik dalam meremediasi limbah cair indigosol abu-abu.

Saran yang diajukan bagi penelitian lanjutan yaitu:

1. Perlu adanya penelitian lebih lanjut untuk mengidentifikasi isolat bakteri NH 1 dan NH 2 dengan metode identifikasi yang lebih akurat. Misalnya dengan menggunakan medium selektif atau metode molekuler.
2. Perlu adanya penelitian lebih lanjut mengenai waktu remediasi isolat NH 1 dan NH 2 dalam meremediasi limbah cair indigosol abu-abu hingga kadar BOD, TSS, dan TDS sesuai dengan baku mutu limbah industri batik.

DAFTAR PUSTAKA

- Alaerts, G. dan Santika, S. S. 1984. *Metode Penelitian Air*. Usaha Nasional, Surabaya. Halaman: 117-119.
- Astirin, O. P. dan Winarno, K. 2000. Peran *Pseudomonas* dan Khamir dalam Perbaikan Kualitas dan Dekolorisasi Limbah Cair Industri Batik Tradisional. *Jurnal Biosmart*. 2 (10) : 13-19
- Atlas, R. M. dan Bartha, R. 1981. *Microbial Ecology*. Addison Wesley, Philippines. Halaman : 212.
- Badan Lingkungan Hidup. 2011. *Keputusan Gubernur DIY Nomor 7 Tentang Baku Mutu Limbah Cair Bagi Kegiatan Industri, Pelayanan Kesehatan dan Jasa Pariwisata*. Gubernur Daerah Istimewa Yogyakarta, Yogyakarta.
- Baker, K. dan Herson, D. 1994. *Bioremediation*. Mc. Graw-Hill Inc, USA.
- Doraja, P. H., Shovitri, M. dan Kuswytasari. 2012. Biodegradasi Limbah Domestik dengan Menggunakan Inokulum Alami dari Tangki Septik. *Jurnal Sains dan Seni ITS*. 1 (1) : 44-47.
- Effendi, H. 2003. *Telaah Kualitas Air Bagi Pengelolaan Sumber Daya dan Lingkungan Perairan*. Kanisius, Yogyakarta. Halaman : 57, 176-178.
- Fardiaz, S. 1992. *Polusi Air dan Udara*. PT Kanisius, Yogyakarta. Halaman : 39.
- Gaman, P. M. dan Sherrington, K. B. 1994. *Pengantar Ilmu Pangan, Nutrisi dan Mikrobiologi Edisi kedua*. Gajah Mada University Press, Yogyakarta.
- Gintings, P. 1992. *Mencegah dan Mengendalikan Pencemaran Industri*. Pustaka Sinar Harapan, Jakarta. Halaman : 131.
- Hughes, M. N. dan Poole, R. K. 1989. *Metals and Microorganism*. Chapman and Hall, New York. Halaman : 108.
- Jenie, L. S. B. dan Rahayu, P. W. 1993. *Penanganan Limbah Industri Pangan*. Kanisius, Yogyakarta. Halaman: 28, 38 dan 85.
- McKinney, R. 1965. *Telaah Kesuburan Tanah Edisi ke 10*. Angkasa, Bandung. Halaman : 34.
- Muchtadi, D. dan Betty, S. K. 1980. *Petunjuk Praktek Mikrobiologi Hasil Pertanian 2*. Departemen Pendidikan Tinggi dan Kebudayaan, Jakarta. Halaman : 41-43.
- Muhajir, M. S. 2013. Penurunan Limbah Cair BOD dan COD Pada Industri Tahu Menggunakan Tanaman Cattail (*Typha angustifolia*) dengan Sistem *Constructed Wetland*. *Naskah Skripsi*

- S-1. Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Negeri Semarang, Semarang.
- Ninggar, R. D. 2014. Kajian Yuridis Tentang Pengendalian Limbah Batik Di Kota Yogyakarta. *Naskah Skripsi S-1*. Fakultas Hukum Universitas Gadjah Mada, Yogyakarta.
- Nurbidayah., Suarsini, E. dan Hastuti, U. S. 2014. Biodegradasi dengan Isolat Bakteri Indigen pada Limbah Tekstil Sasirangan Di Banjarmasin. Dalam: *Prosiding Seminar Nasioanl Sinergi Pangan Pakan dan Energi Tebarukan*. 21-23 Oktober 2014. Yogyakarta. Hal 429-233.
- Pemerintah Republik Indonesia. 2001. *Peraturan Pemerintah Republik Indonesia Nomor 82 Tahun 2001 Tentang Pengelolaan Kualitas Air dan Pengendalian Pencemaran Air*. Pemerintah Republik Indonesia, Jakarta.
- Rachma, R. 2012. Penggunaan Lumpur Aktif Untuk Menurunkan Kadar *Chemical Oxygen Demand* (COD), *Biological Oxygen Demand* (BOD), dan Timbal (Pb) Pada Limbah Cair Pencelupan Industri Batik. *Naskah Tesis S-2*. Fakultas Ilmu Lingkungan Universitas Udayana, Denpasar.
- Salimin, Z. dan Nuraeni, E. 2016. Heavy Metals Biosorption Phenomena Of Cr, Fe, Zn, Cu, Ni, and Mn on the Biomass of Mixed Bacteria of *Bacillus*, *Pseudomonas*, *Arthrobacter*, and *Aeromonas*. Dalam: *Prosiding Seminar Nasional Teknik Kimia "Kejuangan" Pengembangan Teknologi Kimia untuk Pengolahan Sumber Daya Alam Indonesia*. 17 Maret 2016. Yogyakarta. Hal 1-7.
- Situmorang, M. S. 2007. *Kimia Lingkungan*. Universitas Negeri Medan, Medan.
- Sugiharto. 1987. *Dasar-Dasar Pengelolaan Air Limbah*. Universitas Indonesia Press, Jakarta. Halaman: 110.
- Sumardjo, D. 2009. *Pengantar Kimia: Buku Panduan Kuliah Mahasiswa Kedokteran dan Program Strata I Fakultas Bioeksakta*. Buku Kedokteran EGC, Jakarta. Halaman: 297, 515, 535, 620.
- Sunu, P. 2001. *Melindungi Lingkungan Dengan Menerapkan ISO 14001*. Grasindo, Jakarta. Halaman : 31
- Suriani, S., Soemarno. dan Suharjono. 2013. Pengaruh Suhu dan pH Terhadap Laju Pertumbuhan Lima Isolat Bakteri Anggota Genus *Pseudomonas* yang Diisolasi dari Ekosistem Sungai Tercemar Deterjen di Sekitar Kampus Universitas Brawijaya. *J-PAL*. 3 (2) : 58-62.
- Sutrisno, C. D. dan Suciastuti, E. 1987. *Teknologi Penyediaan Air Bersih*. PT Bina Aksara, Bandung. Halaman : 27.
- Yazid, F. R., Syafrudin. dan Samudro, G. 2012. Pengaruh Variasi Konsentrasi dan Debit Pada Pengolahan Air *Artificial* (Campuran *Grey Water* dan *Black Water*) Menggunakan Reaktor UASB. *Jurnal Presipitasi*. 9 (1) : 31-40.

