

**KOMBINASI REMEDIASI *Typha latifolia*, FERMENTASI JERAMI, DAN *Pseudomonas aeruginosa* DALAM PENYERAPAN LOGAM BERAT SENGG (Zn) DARI LIMBAH CAIR INDUSTRI BATIK**

**COMBINATION REMEDIATION *Typha latifolia*, FERMENTED STRAW, AND *Pseudomonas aeruginosa* IN THE ABSORPTION OF HEAVY METAL ZINC (Zn) OF BATIK INDUSTRIAL LIQUID WASTE**

*Yunia Frischilla<sup>1</sup>, Indah Muwarni Yulianti<sup>2</sup>, Wibowo Nugroho Jati<sup>3</sup>*  
*Fakultas Teknobiologi,*  
*Universitas Atma Jaya Yogyakarta,*  
*Jl. Babarsari No. 44, Sleman, Yogyakarta,*  
*yuniafrischilla@gmail.com*

**INTISARI**

Industri batik merupakan salah satu penghasil limbah cair yang berasal dari proses pewarnaan dan berpotensi menghasilkan limbah yang mengandung logam berat yang dikategorikan sebagai limbah berbahaya sehingga dapat menyebabkan pencemaran lingkungan. Bioremediasi merupakan salah satu cara untuk mendegradasi limbah dengan menggunakan tanaman, jerami hasil fermentasi, dan mikrobia. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui efektifitas tanaman *Typha latifolia*, jerami hasil fermentasi dan *Pseudomonas aeruginosa* dalam memperbaiki kualitas limbah cair batik berdasarkan nilai IBR dan mengetahui jumlah tanaman *Typha latifolia*, jerami hasil fermentasi dan *Pseudomonas aeruginosa* yang memiliki kemampuan paling baik dalam menurunkan logam Zn dalam limbah cair batik. Hasil yang didapatkan selama penelitian empat belas hari proses degradasi limbah cair batik indigosol coklat dengan empat perlakuan (Kontrol, penambahan 2, 4 dan 6 batang tanaman yang ditambahkan jerami hasil fermentasi sebanyak 250 gram) masing-masing memiliki kemampuan yang berbeda. 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). Perlakuan dengan penambahan 6 batang tanaman *Typha latifolia* dan jerami fermentasi sebanyak 250 gram yang paling efektif dalam mendegradasi limbah cair batik indigosol coklat. Perlakuan dengan penambahan 6 batang tanaman *Typha latifolia* dan jerami fermentasi sebanyak 250 gram mampu menurunkan kadar COD sebesar 76,38%, logam Zn sebesar 77,56%, 76,38%, BOD sebesar 82,62%, TSS sebesar 82,62%, dan TDS sebesar 35%.

Kata Kunci: Limbah cair industri batik, limbah cair indigosol coklat, kombinasi remediasi *Typha latifolia*, fermentasi jerami, dan *Pseudomonas aeruginosa*

## ABSTRACT

Batik industry is one of producing liquid waste which derived from process of coloring and potentially produce waste containing heavy metal who are classified as hazardous waste so as to cause environmental pollution. Bioremediation is one of ways to degrade the wastewater using plants, straw result of fermentation and microbes. This research aims to review the effectiveness of plants *Typha latifolia*, straw result of fermentation and *Pseudomonas aeruginosa* on improving the quality of batik liquid waste based on IBR value and knows the quantity of a crop *Typha latifolia*, straw result of fermentation and *Pseudomonas aeruginosa* with the best ability in lowering metal Zn in batik liquid waste. The results obtained during the fourteen days the process degradation batik liquid waste brown indigosol with four treatment (control , the addition of 2 , 4 and 6 plants added straw result of fermentation as many as 250 grams) each has different capabilities. 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). Treatment with the addition of 6 plants of *Typha latifolia* and straw fermentation as many as 250 grams most effective in degrades batik liquid waste brown indigosol. Treatment with the addition of 6 plants of *Typha latifolia* and straw fermentation as many as 250 grams capable to reduce levels of 76,38 % COD, 77,56% of heavy metals Zn (Zinc), 82,62 % of BOD, 82,62 % of TSS, and 35 % of TDS.

**Keywords :** Batik Industry liquid waste, brown indigosol waste water, combination remediation *Typha latifolia*, fermented straw, and *Pseudomonas aeruginosa*.

## PENDAHULUAN

Batik adalah salah satu kekayaan budaya bangsa Indonesia yang telah mendapat pengakuan internasional dari UNESCO pada tahun 2009. Suksesnya perdagangan batik di Indonesia menimbulkan persoalan lingkungan tersendiri. Menurut riset, industri batik setiap tahunnya memproduksi kadar emisi CO<sub>2</sub> tertinggi jika dibandingkan dengan sektor UKM lainnya yang umumnya merupakan hasil dari ketergantungan industri tersebut akan bahan bakar (minyak tanah) yang tinggi. Suksesnya perdagangan batik di Indonesia menimbulkan persoalan lingkungan tersendiri. Salah satu contoh zat warna yang banyak digunakan industri tekstil adalah indigosol (Ninggar, 2014).

Pewarna jenis indigosol sering digunakan karena menghasilkan warna yang cerah dan tidak mudah memudar. Namun air bekas cuciannya 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 fitoremediasi. Fitoremediasi merupakan satu-satunya metode pengolahan limbah yang menggunakan tanaman sebagai indikator, mudah untuk dilakukan atau diaplikasikan, tidak memakan biaya banyak dan tanaman yang digunakan juga banyak terdapat di alam (Melethia dkk, 1996). Seringkali penggunaan tanaman saja belum cukup dalam melakukan remediasi sehingga perlu dilakukan kombinasi perlakuan. Salah satu perlakuan yang dapat dilakukan adalah dengan menambahkan bakteri pada media tanam seperti jerami padi. Pada penelitian ini penulis akan melakukan kombinasi perlakuan yaitu tanaman *Typha latifolia* dan jerami fermentasi dengan *Pseudomonas aeruginosa* menggunakan metode fitoremediasi.

## **METODE PENELITIAN**

Penelitian ini bersifat eksperimental dan akan dilaksanakan pada bulan Februari-Mei 2017. Lokasi penelitian dilakukan di Kebun Biologi, Laboratorium Tempat Pengolahan Limbah, dan Laboratorium Lingkungan 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.

Penelitian ini menggunakan Rancangan Acak Lengkap (RAL) Faktorial dengan satu kontrol dan tiga kali ulangan dengan variasi pada jumlah tanaman yang digunakan yaitu 2 batang, 4 batang, dan 6 batang dn penambahan jerami fermentasi sebanyak 250 gram. Parameter yang diamati adalah kadar Zn, COD, BOD, TSS, TDS, pH, dan suhu pada sampel hari ke-0, ke-7 dan 14, serta parameter pertumbuhan yaitu jumlah daun, tunas atau anakan, berat basah dan berat kering tanaman pada hari ke-0 dan hari ke-14.

Tahapan penelitian terdiri dari 10 tahapan utama yaitu pengambilan sampel limbah cair pewarna indigosol coklat, pengambilan tanaman *Typha latifolia*, aklimatisasi tanaman *Typha latifolia*, pembuatan jerami fermentasi, pembuatan medium pertumbuhan bakteri, perbanyakan bakteri, perlakuan fitoremediasi pada sampel, analisis kandungan logam berat seng (Zn), karakterisasi sampel (parameter COD, BOD, pH, TSS, TDS), pengamatan parameter pertumbuhan tanaman., 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. Jerami Hasil Fermentasi**

Pada penelitian ini ditambahkan jerami fermentasi ke dalam media tanam. Fermentasi jerami padi dilakukan selama 7 hari dengan menggunakan inokulan *Pseudomonas aeruginosa*. Jerami padi yang sudah dipotong-potong (dicacah) ditimbang masing-masing seberat 500 gram kemudian selanjutnya jerami disemprot dengan larutan yang merupakan campuran inoklum *Pseudomonas aeruginosa* dan urea. Setelah dicampurkan jerami dimasukkan ke dalam *trash bag* dan diperam selama 7 hari. Setelah 7 hari jerami yang sudah difermentasi mengeluarkan bau ammonia saat tempat peram dibuka, tekstur jerami menjadi lebih lunak, dan warna jerami berubah menjadi coklat tua merata.



Gambar 4. Jerami Hasil Fermentasi Dengan *Pseudomonas aeruginosa*

Ciri khas proses urea amoniasi yang baik adalah timbulnya bau ammonia yang kuat saat tempat pemeraman dibuka. Bau ammonia yang kuat menunjukkan bahwa urea telah terhidrolisis secara maksimal menjadi amonia. Warna jerami yang diamoniasi dengan baik akan berubah dari coklat muda kekuningan menjadi coklat tua dan merata. Warna jerami yang kurang kuat pada jerami menunjukkan proses amoniasi tidak berlangsung dengan baik. Tekstur jerami padi yang tidak diamoniasi keras dan kaku, sedangkan jerami yang sudah diamoniasi lebih lembut dan lunak meskipun jerami tersebut sudah dikeringkan.

Semakin lama pemeraman maka tekstur jerami akan semakin lembut dan lunak. Pada proses fermentasi ini terjadi proses pemecahan ikatan kompleks lignin, selulosa dan hemiselulosa oleh aktivitas mikroorganisme selulolitik (Andini dkk, 2015). Penggunaan bakteri selulolitik sebagai inokulum karena mempunyai kemampuan dalam mendegradasi hemiselulosa menjadi xilosa, arabinosa, glukoronat dan asetat, serta dapat mempercepat laju fermentasi jerami padi (Lamit dkk, 2006).

#### **B. Kualitas Limbah Cair Indigosol Coklat**

Sampel limbah cair indigosol coklat yang digunakan dalam penelitian ini adalah limbah cair yang berasal dari industry batik Winotosastro yang berada di Kota Yogyakarta. Sebelum sampel limbah diremediasi, beban cemaran perlu diukur terlebih dahulu untuk membandingkan kualitas limbah sebelum dan setelah pengolahan menggunakan metode fitoremediasi. Beban

cemaran merupakan jumlah suatu unsur pencemar yang terkandung dalam air atau limbah (Menteri Lingkungan Hidup, 2003). Pengukuran kualitas sampel limbah berupa kadar BOD (*Biological Oxygen Demand*), kadar COD (*Chemical Oxygen Demand*), kadar logam Zn (Seng), kadar TDS (*Total Dissolved Solid*), kadar TSS (*Total Suspended Solid*), derajat keasaman (pH), serta suhu.

Setelah dilakukan pengujian dan hasil yang diperoleh, maka dapat diketahui bahwa kualitas limbah cair indigosol coklat melebihi ambang batas baku mutu yang telah ditetapkan oleh Peraturan Pemerintah Daerah Istimewa Yogyakarta Nomor 7 Tahun 2010 dan Peraturan Pemerintah Republik Indonesia Nomor 82 Tahun 2001 (kecuali parameter pH dan suhu yang masih berada dalam batas baku mutu). Hasil pengukuran sampel limbah sebelum proses degradasi dapat dilihat pada Tabel 4.

Tabel 4. Kualitas limbah Cair Indigosol Coklat Sebelum Aktivitas Degradasi

<b>Parameter</b>	<b>Limbah Indigosol Coklat Murni</b>	<b>Baku mutu Limbah Cair Industri</b>
BOD	400 mg/L	50 mg/L
COD	1398,54 mg/L	200 mg/L
TDS	1785 mg/L	1000 mg/L
TSS	373 mg/L	200 mg/L
pH	7,5	6.0-9.0
Temperatur	28°C	± 3°C thd suhu udara
Logam Zn	9,1260mg/L	2 mg/L

Sumber : \*Peraturan Gubernur DIY (2010)

\*\*Pemerintahan Republik Indonesia (2001)

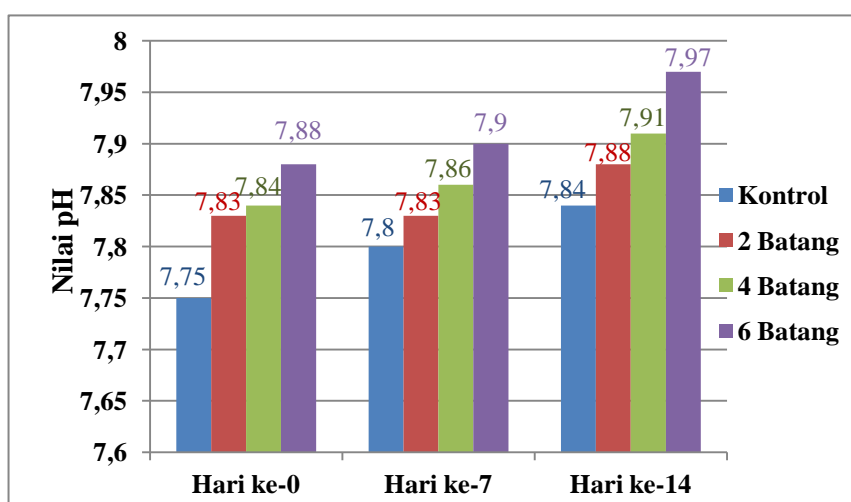
### C. Pengukuran Aktivitas Degradasi

#### 1. Derajat Keasaman (pH)

Nilai pH limbah cair indigosol coklat sebelum diberi perlakuan yaitu sekitar 7,5. Nilai pH tersebut tidak berbeda jauh dengan nilai pH pada saat perlakuan hari ke 0. Hal ini dikarenakan belum terjadi aktivitas degradasi oleh mikroorganisme yang berasosiasi dengan tanaman sehingga pH tidak mengalami peningkatan. Berdasarkan pengukuran yang telah dilakukan, perlakuan pertama yaitu kontrol (tanpa tanaman dan jerami fermentasi pada hari ke-0 memiliki nilai pH sebesar 7,75, pada hari ke-7 mengalami peningkatan menjadi 7,80, dan pada hari ke-14 mengalami peningkatan lagi yaitu 7,84.

Perlakuan kedua dengan penambahan 2 batang tanaman *Typha latifolia* dan 250 gram jerami fermentasi pada hari ke-0 memiliki nilai pH 7,83, pada hari ke-7 mengalami peningkatan menjadi 7,83, pada hari ke-14 mengalami peningkatan lagi menjadi 7,88. Perlakuan ketiga merupakan penambahan 4 batang tanaman *Typha latifolia* dan 250 gram jerami fermentasi pada hari ke-0 nilai pH sebesar 7,84, pada hari ke-7 mengalami peningkatan menjadi 7,86, pada hari ke-14 mengalami peningkatan menjadi 7,91. Perlakuan keempat merupakan penambahan 6 batang tanaman *Typha latifolia* dan 250 gram jerami fermentasi pada hari ke-0 nilai pH sebesar 7,88, pada hari ke-7 mengalami peningkatan menjadi 7,90, pada hari ke-14 mengalami peningkatan lagi menjadi 7,97.

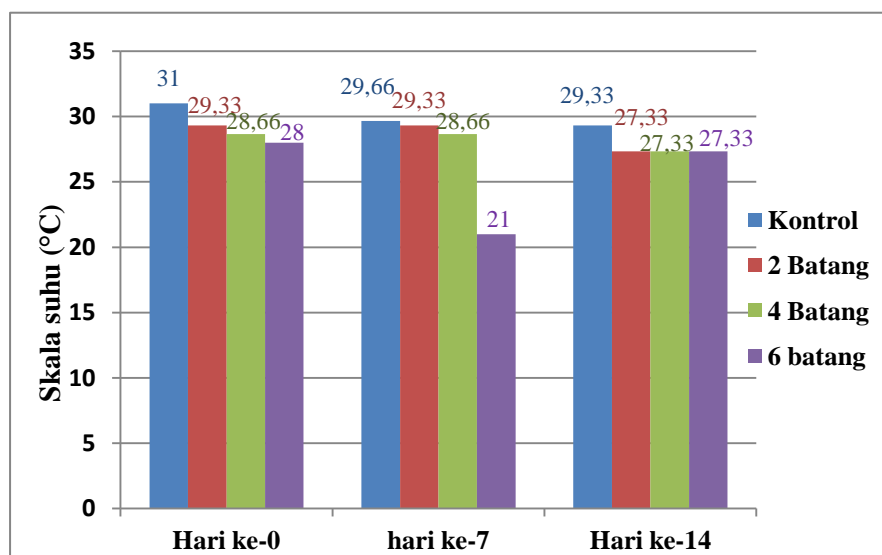
Pada gambar 5 terlihat bahwa keempat perlakuan mengalami peningkatan pH pada hari ke-7 hingga hari ke-14. Keempat perlakuan lebih lanjut dianalisis dengan Anava menggunakan program SPSS. Hasil analisis Anava keempat perlakuan pada hari ke-0 sampai hari ke-14 menunjukkan bahwa hasil yang berbeda nyata pada tingkat kepercayaan 95%. Berdasarkan hasil yang diperoleh, pH tertinggi terjadi pada perlakuan keempat yaitu dengan penambahan tanaman *Typha latifolia* sebanyak 6 batang serta jerami fermentasi sebanyak 250 dan pada hari ke-14 yaitu menjai 7,97 atau mengalami peningkatan sebesar 1,13 %. Nilai pH tersebut masih berada dalam rentang yang telah ditetapkan dalam baku mutu limbah cair untuk industry batik oleh Badan Lingkungan Hidup Privinsi Daerah Istimewa Yogyakarta yaitu sebesar 6,0-9,0.



Gambar 5. Diagram Peningkatan Nilai pH Selama 14 Hari

## 2. Suhu

Berdasarkan pengukuran yang telah dilakukan, perlakuan pertama yaitu kontrol (tanpa tanaman dan jerami fermentasi) pada hari ke-0 skala suhu sebesar  $31^{\circ}\text{C}$ , pada hari ke-7 mengalami penurunan menjadi  $29,66^{\circ}\text{C}$ , pada hari ke-14 mengalami penurunan lagi menjadi  $29,33^{\circ}\text{C}$ . Perlakuan kedua dengan penambahan tanaman *Typha latifolia* sebanyak 2 batang dan jerami fermentasi sebanyak 250 gram pada hari ke-0 memiliki skala suhu sebesar  $29,33^{\circ}\text{C}$ , pada hari ke-7 skala suhu tetap  $29,33^{\circ}\text{C}$ , dan pada hari ke-14 skala suhu mengalami penurunan menjadi  $27,33^{\circ}\text{C}$ . Perlakuan ketiga dengan penambahan 4 batang tanaman *Typha latifolia* dan jerami fermentasi sebanyak 250 gram pada hari ke-0  $28,66^{\circ}\text{C}$ , pada hari ke-7 skala suhu tetap  $28,66^{\circ}\text{C}$ , dan pada hari ke-14 skala suhu mengalami penurunan menjadi  $27,33^{\circ}\text{C}$ . Perlakuan keempat dengan penambahan 6 batang tanaman *Typha latifolia* dan jerami fermentasi sebanyak 250 gram skala suhu sebesar  $28^{\circ}\text{C}$ , pada hari ke-7 skala suhu mengalami penurunan sampai  $21^{\circ}\text{C}$ , dan pada hari ke-14 skala suhu mengalami peningkatan kembali menjadi  $27,33^{\circ}\text{C}$  namun masih dibawah skala suhu pada hari ke-0.



Gambar 6. Diagram Skala Penurunan Suhu Selama 14 Hari

Pada Gambar 6 terlihat bahwa keempat perlakuan mengalami penurunan skala suhu pada hari ke-7 hingga hari ke-14. Berdasarkan hasil yang diperoleh skala suhu paling tinggi yaitu pada perlakuan kontrol hari ke-0 namun masih berada dalam rentang yang telah ditetapkan dalam baku mutu limbah cair industri batik oleh Badan Lingkungan Hidup Provinsi Daerah Istimewa Yogyakarta yaitu sebesar  $\pm 3^{\circ}\text{C}$  terhadap suhu udara.



Skala suhu yang mengalami penurunan paling rendah yaitu pada perlakuan keempat dengan penambahan 6 batang tanaman *Typha latifolia* dan jerami fermentasi sebanyak 250 gram pada hari ke-7 yaitu menjadi 21°C atau  $\pm 25\%$ . Nilai tersebut berada dibawah rentang baku mutu telah ditetapkan dalam baku mutu limbah cair industri batik oleh Badan Lingkungan Hidup Provinsi Daerah Istimewa Yogyakarta yaitu sebesar  $\pm 3^\circ\text{C}$  terhadap suhu udara.

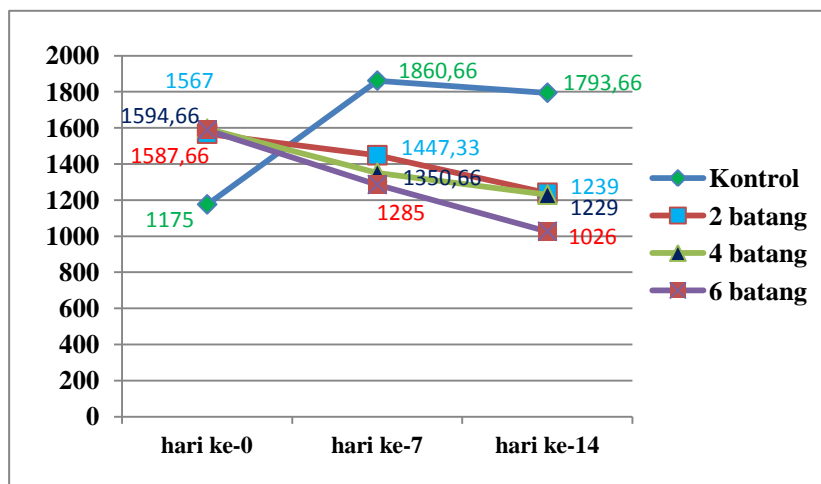
### 3. TDS (*Total Dissolved Solid*)

Berdasarkan hasil penelitian, dapat dilihat hasil pengukuran kadar TDS pada limbah cair indigosol coklat mengalami penurunan. Sebelum limbah cair indigosol coklat diberi perlakuan penambahan tanaman *Typha latifolia* dan jerami fermentasi yaitu sebesar 1785 mg/L, kemudian mengalami penurunan setelah mengalami proses bioremediasi. Hal ini terjadi dikarenakan TDS mengandung partikel terlarut bisa berupa partikel padatan (seperti kandungan logam misalnya besi, aluminium, tembaga, dll) maupun partikel non padatan seperti mikroorganisme dll.

Pada penelitian yang telah dilakukan selama 14 hari, menunjukkan bahwa terjadi penurunan kadar TDS. Menunjukkan bahwa terjadi penurunan kadar TDS. Berdasarkan pengukuran yang telah dilakukan, pada hari ke-0 kontrol memiliki kadar TDS sebesar 1775,00 mg/L, hari ke-7 mengalami peningkatan menjadi 1860,66 mg/L, pada hari ke-14 mengalami penurunan kembali menjadi 1793,66 mg/L. Perlakuan kedua dengan penambahan 2 batang tanaman *Typha latifolia* dan jerami fermentasi sebanyak 250 gram pada hari ke-0 memiliki kadar TDS 1567,66 mg/L, pada hari ke-7 mengalami penurunan menjadi 1447,33 mg/L, pada hari ke-14 mengalami penurunan lagi menjadi 1239,00 mg/L.

Perlakuan ketiga merupakan penambahan 4 batang tanaman *Typha latifolia* dan jerami fermentasi sebanyak 250 gram pada hari ke-0 memiliki kadar TDS 1549,66 mg/L, pada hari ke-7 mengalami penurunan menjadi 1350,66 mg/L, pada hari ke-14 mengalami penurunan lagi menjadi 1229,00 mg/L. perlakuan keempat merupakan penambahan 6 batang tanaman *Typha latifolia* dan jerami fermentasi sebanyak 250 gram pada hari ke-0 memiliki kadar TDS sebesar 1587,66 mg/L, pada hari ke-7 mengalami penurunan menjadi 1285,00 mg/L, pada hari ke-14 mengalami penurunan lagi menjadi 1026,00 mg/L.

Pada Gambar 7 terlihat bahwa keempat perlakuan mengalami penurunan pada hari ke-0 hingga hari ke-14. Pada kontrol hari ke-7 kadar TDS sempat mengalami peningkatan dan pada hari ke-14 mengalami penurunan kembali.



Gambar 7. Grafik Penurunan Kadar TDS Selama 14 Hari

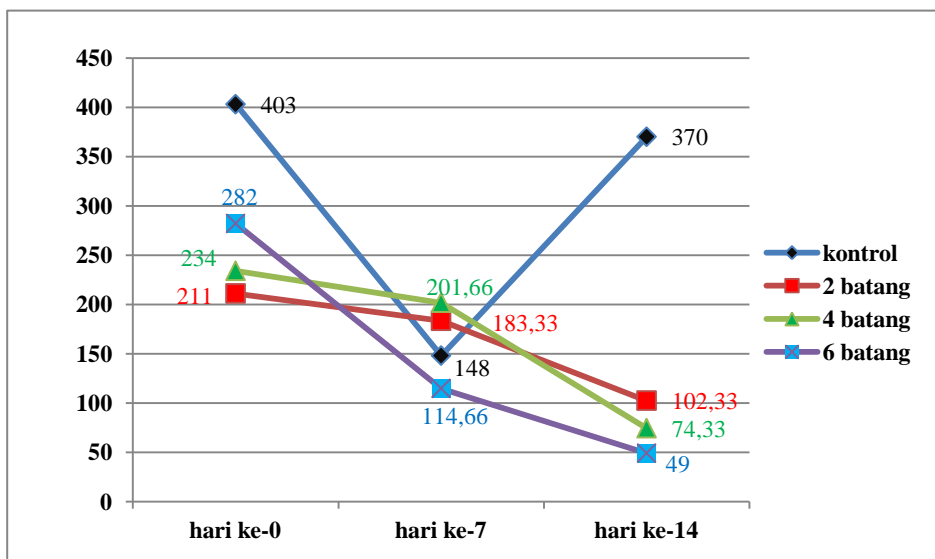
Berdasarkan hasil penelitian, nilai TDS yang mengalami penurunan paling rendah yaitu pada perlakuan penambahan 6 batang tanaman *Typha latifolia* dan jerami fermentasi sebanyak 250 gram menjadi 1026,00 mg/L atau 35,38%. Angka tersebut berada sedikit diatas baku mutu yang telah ditetapkan oleh Peraturan Gubernur Daerah Istimewa Yogyakarta, baku mutunya yaitu 1000 mg/L.

#### 4. TSS (*Total Suspended Solid*)

Pengukuran awal sampel limbah cair batik pewarna indigosol coklat memiliki kadar TSS sebesar 373 mg/L. Berdasarkan data yang diperoleh hasil pengukuran kadar TSS pada kontrol hari ke-0 yaitu 403,00 mg/L, pada hari ke-7 mengalami penurunan menjadi 148,00 mg/L, dan pada hari ke-14 mengalami peningkatan kembali menjadi 370 mg/L. Hal ini dapat terjadi karena bagian yang termasuk dalam TSS adalah lumpur, tanah, logam oksida, sulfide, ganggang, bakteri dan jamur (Sutrisno dan Suciastuti, 1987).

Kadar TSS pada perlakuan kedua (penambahan 2 batang tanaman *Typha latifolia* dan jerami fermentasi 250 gram) hari ke-0 yaitu 211,00 mg/L, pada hari ke-7 mengalami penurunan menjadi 183,33 mg/L, pada hari ke-14 mengalami penurunan kembali menjadi 102,33 mg/L. Kadar TSS pada perlakuan ketiga (penambahan 4 batang tanaman *Typha latifolia* dan jerami fermentasi 250 gram) pada hari ke-0 yaitu 211,00 mg/L, pada hari ke-

7 mengalami penurunan menjadi 201,66 mg/L, pada hari ke-14 mengalami penurunan kembali menjadi 74,33 mg/L. Kadar TSS pada perlakuan keempat (penambahan 4 batang tanaman *Typha latifolia* dan jerami fermentasi 250 gram) pada hari ke-0 yaitu sebesar 282,00 mg/L, pada hari ke-7 mengalami penurunan menjadi 114,6 mg/L, pada hari ke-14 mengalami penurunan kembali menjadi 49,00 mg/L.



Gambar 8. Grafik Penurunan Kadar TSS selama 14 hari

Penelitian ini dilakukan selama 14 hari, hasil penelitian ini menunjukkan adanya penurunan kadar TSS dari hari ke-0 hingga hari ke-14. Menurut Tangahu dan Warmadewanthi (2001), penurunan kadar TSS ini disebabkan karena terjadinya proses filtrasi yang dilakukan oleh media dan akar tanaman, dimana proses tersebut terjadi karena kemampuan sistem perakaran tanaman yang dapat menahan partikel-partikel padatan yang terdapat dalam air limbah. Selain itu, penurunan kadar TSS juga dapat disebabkan oleh senyawa organik di dalam limbah didegradasi oleh bakteri dengan mengeluarkan enzim permease untuk menghidrolisis senyawa organik kompleks (pati, protein, lemak) menjadi senyawa yang lebih sederhana (Radojevic dan Vladimir, 1999).

Berdasarkan hasil yang diperoleh, perlakuan yang paling efektif menurunkan kadar TSS yaitu pada penambahan 6 batang tanaman *Typha latifolia* dan jerami fermentasi sebanyak 250 gram mengalami penurunan menjadi 49,00 mg/L atau 82,62%. Kadar TSS yang dihasilkan sudah berada jauh dibawah rentang baku mutu yang ditetapkan oleh Peraturan Gubernur Daerah Istimewa Yogyakarta yaitu 200 mg/L. Mujahir (2013)

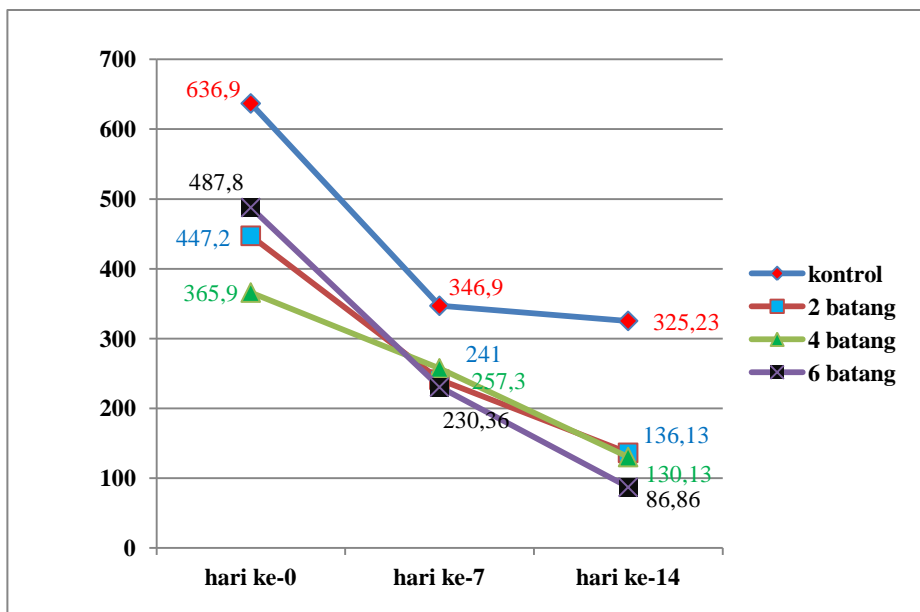
mengatakan bahwa faktor lain yang menyebabkan terjadinya penurunan konsentrasi padatan tersuspensi adalah lama waktu kontak. Semakin lama waktu kontak antara air limbah dengan biomassa maka proses degradasi parameter-parameter pencemar organik dapat berlangsung lebih lama sehingga kinerja reaktor akan semakin baik dan konsentrasi *effluent* yang dihasilkan juga semakin rendah.

##### **5. BOD (*Biochemical Oxygen Demand*)**

Kadar BOD limbah cair batik pewarnaan indigosol coklat sebelum terjadi proses bioremediasi yaitu sebesar 400 mg/L. kadar BOD mengalami peningkatan pada hari ke-0 yaitu mencapai 636,90 mg/L pada kontrol, 447,20 mg/L pada perlakuan penambahan 2 batang tanaman *Typha latifolia* dan jerami fermentasi sebanyak 250 gram, 365,90 mg/L pada perlakuan penambahan 4 batang tanaman *Typha latifolia* dan jerami fermentasi sebanyak 250 gram, dan 487,80 mg/L pada perlakuan penambahan 6 batang tanaman *Typha latifolia* dan jerami fermentasi sebanyak 250 gram.

Berdasarkan pengukuran yang telah dilakukan, pada perlakuan pertama yaitu kontrol pada hari ke-0 memiliki kadar BOD sebesar 636,90 mg/L, pada hari ke-7 mengalami penurunan menjadi 346,90 mg/L, pada hari ke-14 mengalami penurunan lagi menjadi 325,23 mg/L.

Pada perlakuan kedua dengan penambahan 2 batang tanaman *Typha latifolia* dan jerami fermentasi sebanyak 250 gram kadar BOD hari ke-0 yaitu sebesar 447,20 mg/L, pada hari ke-7 mengalami penurunan menjadi 241,00 mg/L, pada hari ke-14 mengalami penurunan lagi menjadi 136,13 mg/L. Pada perlakuan ketiga dengan penambahan 4 batang tanaman *Typha latifolia* dan jerami fermentasi sebanyak 250 gram kadar BOD hari ke-0 yaitu sebesar 365,90 mg/L, pada hari ke-7 mengalami penurunan menjadi 257,30 mg/L, dan pada hari ke-14 mengalami penurunan lagi menjadi 130,13 mg/L. Pada perlakuan keempat dengan penambahan 6 batang tanaman *Typha latifolia* dan jerami fermentasi sebanyak 250 gram kadar BOD hari ke-0 sebesar 487,80 mg/L, pada hari ke-7 mengalami penurunan menjadi 230,36 mg/L, dan pada hari ke-14 mengalami penurunan lagi menjadi 86,86 mg/L.



Gambar 9. Kurva Penurunan Kadar BOD Selama 14 Hari

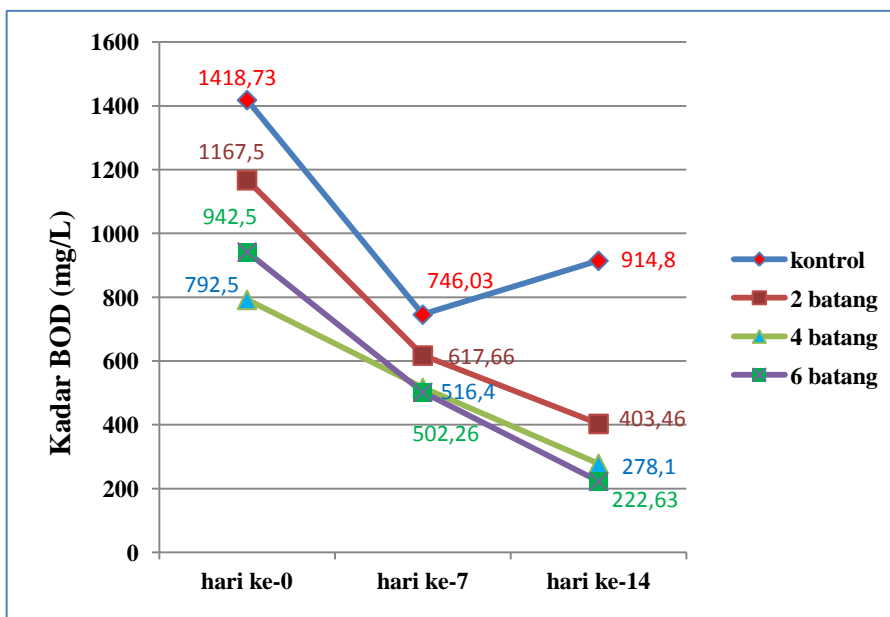
Berdasarkan hasil yang diperoleh, perlakuan yang paling efektif untuk menurunkan kadar BOD yaitu penambahan 6 batang tanaman *Typha latifolia* dan 250 gram jerami fermentasi mengalami penurunan menjadi 86,86 mg/L atau 82,03% . Kadar BOD yang dihasilkan masih berada diatas baku mutu yang telah ditetapkan oleh Peraturan Gubernur Daerah Istimewa Yogyakarta yaitu 50 mg/L. Hal ini disebabkan karena lama waktu proses fitoremediasi terlalu singkat sehingga penurunan kadar BOD belum maksimal. Menurut Johanna Evasari (2012), penurunan BOD dipengaruhi oleh waktu. Semakin panjang waktu maka reduksi BOD akan semakin baik pula.

#### 6. COD (*Chemical Oxygen Demand*)

Pada penelitian yang telah dilakukan selama 14 hari, menunjukkan bahwa terjadi penurunan kadar COD. Berdasarkan pengukuran yang telah dilakukan, pada kontrol hari ke-0 memiliki kadar COD sebesar 1418,73 mg/L, pada hari ke-7 mengalami penurunan menjadi 746,03 mg/L, pada hari ke-14 mengalami peningkatan kembali menjadi 914,80 mg/L. Perlakuan kedua dengan penambahan 2 batang tanaman *Typha latifolia* dan jerami fermentasi sebanyak 250 gram pada hari ke-0 memiliki kadar COD sebesar 1167,50 mg/L,

pada hari ke-7 mengalami penurunan menjadi 617,66 mg/L, pada hari ke-14 mengalami penurunan lagi menjadi 403,46 mg/L.

Perlakuan ketiga dengan penambahan 4 batang tanaman *Typha latifolia* dan jerami fermentasi sebanyak 250 gram pada hari ke-0 memiliki kadar COD sebesar 792,50 mg/L, pada hari ke-7 mengalami penurunan menjadi 516,40 mg/L, pada hari ke-14 mengalami penurunan lagi menjadi 278,10 mg/L. Perlakuan keempat dengan penambahan 6 batang tanaman *Typha latifolia* dan jerami fermentasi sebanyak 250 gram pada hari ke-0 memiliki kadar COD sebesar 942,50 mg/L, pada hari ke-7 mengalami penurunan menjadi 502,26 mg/L, pada hari ke-14 mengalami penurunan lagi menjadi 222,63 mg/L. Pada gambar 10 terlihat bahwa ketiga perlakuan dengan penambahan tanaman *Typha latifolia* dan jerami fermentasi sebanyak 250 gram mengalami penurunan kadar COD hingga hari ke-14.



Gambar 10. Kurva Penurunan Kadar COD Selama 14 Hari

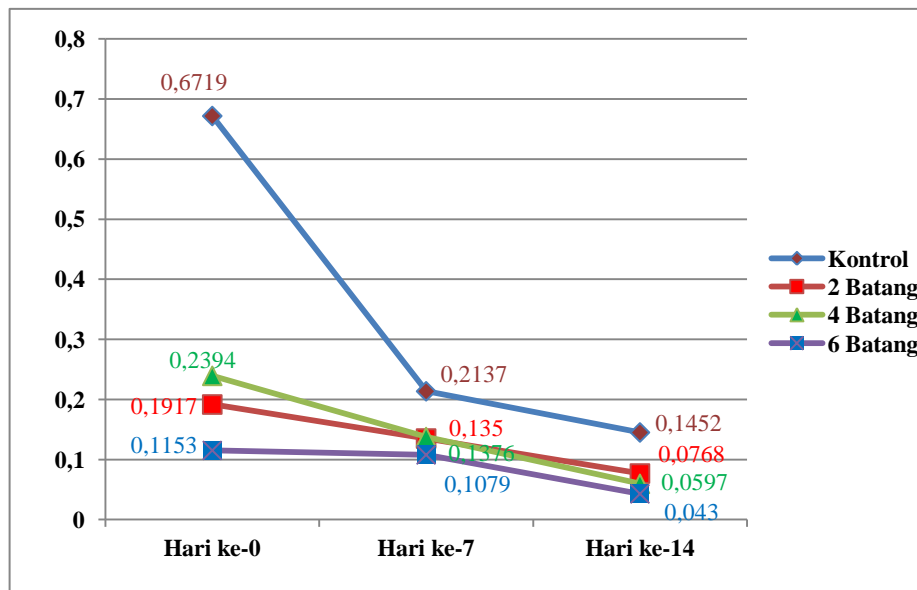
Berdasarkan hasil yang diperoleh terlihat bahwa perlakuan yang paling efektif menurunkan kadar COD yaitu perlakuan keempat dengan penambahan 6 batang tanaman *Typha latifolia* dan jerami fermentasi sebanyak 250 gram pada hari ke-14 yang mengalami penurunan menjadi 222,63 mg/L atau 76,38%. Kadar COD yang dihasilkan masih berada di atas baku mutu yang telah ditetapkan oleh Peraturan Gubernur Daerah Istimewa Yogyakarta, baku mutunya yaitu 100 mg/L. Hal ini disebabkan karena lama waktu proses fitoremediasi terlalu singkat sehingga penurunan kadar COD belum maksimal.

Menurut Elystia dkk (2014) kemampuan penyisihan kandungan COD meningkat pada proses lamanya waktu tinggal dan kerapatan tanaman. Semakin banyak tanaman *Typha latifolia* yang digunakan, maka penyerapan bahan organik pun akan semakin banyak pula sehingga oksigen dalam limbah tersebut bertambah sebagai hasil dari fotosintesis tanaman tersebut.

### **7. Logam Berat Seng (Zn) Pada Limbah Cair**

Pada penelitian yang telah dilakukan selama 14 hari, menunjukkan bahwa terjadi penurunan kadar logam berat Zn. Berdasarkan pengukuran yang telah dilakukan, perlakuan pertama yaitu kontrol pada hari ke-0 memiliki kadar logam berat Zn sebesar 0,6719 mg/L, pada hari ke-7 mengalami penurunan menjadi 0,2137 mg/L, pada hari ke-14 mengalami penurunan lagi menjadi 0,1452 mg/L.

Perlakuan kedua dengan penambahan 2 batang tanaman *Typha Latifolia* dan jerami fermentasi sebanyak 250 gram pada hari ke-0 memiliki kadar Zn sebesar 0,1917 mg/L, pada hari ke-7 mengalami penurunan menjadi 0,1350 mg/L, pada hari ke-14 mengalami penurunan lagi menjadi 0,0768 mg/L. Perlakuan ketiga dengan penambahan 4 batang tanaman *Typha latifolia* dan jerami fermentasi sebanyak 250 gram pada hari ke-0 memiliki kadar Zn sebesar 0,2394 mg/L, pada hari ke-7 mengalami penurunan menjadi 0,1376 mg/L, pada hari ke-14 mengalami penurunan lagi menjadi 0,0597 mg/L. perlakuan keempat dengan penambahan 6 batang tanaman *Typha latifolia* dan jerami fermentasi sebanyak 250 gram pada hari ke-0 memiliki kadar Zn sebesar 0,1153 mg/L, pada hari ke-7 mengalami penurunan menjadi 0,1079 mg/L, pada hari ke-14 mengalami penurunan lagi menjadi 0,0430 mg/L.



Gambar 11. Kurva Penurunan Kadar Logam Berat Zn Selama 14 Hari

Berdasarkan hasil yang diperoleh terlihat bahwa sejak hari ke-0 kadar logam berat Zn sudah rendah. Padahal dapat dilihat pada Tabel 4 bahwa sebelum aktivitas degradasi yaitu limbah murni tanpa penambahan tanaman dan jerami fermentasi kadar Zn mencapai 9,1260 mg/L dimana kadar tersebut melebihi baku mutu untuk pengolahan kualitas air dan pengendalian pencemaran air yang telah ditetapkan oleh Pemerintah Republik Indonesia yaitu sebesar 2 mg/L.

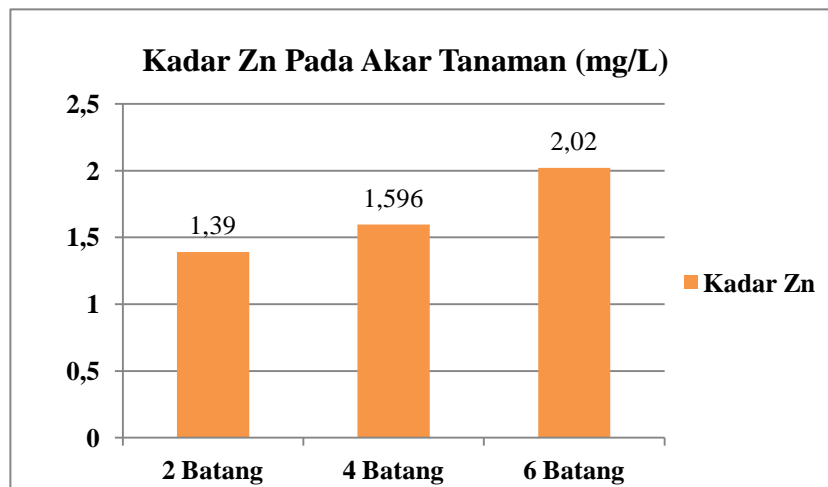
Hal ini dapat terjadi dikarenakan setiap kali proses pewarnaan batik dengan menggunakan pewarna indigosol coklat memiliki takaran yang berbeda, semakin banyak kain yang akan diwarnai maka semakin banyak pula pewarna indigosol yang ditambahkan sehingga kadar logam berat Zn pun meningkat. Meskipun pada hari ke-0 kadar logam berat Zn pada keempat perlakuan sudah rendah, namun masih terus terjadi penurunan kadar Zn hingga hari ke-14. Perlakuan dengan penambahan 6 batang tanaman *Typha latifolia* dan jerami fermentasi sebanyak 250 gram merupakan perlakuan terbaik yaitu sebesar 0,0430 mg/L dan berdasarkan hasil perhitungan nilai indeks bioremediasi (IBR) penurunan kadar Zn pada limbah cair batik yaitu 77,56%.

### 8. Logam Berat Seng (Zn) Pada Akar Tanaman

Dari hasil penelitian yang diperoleh, dapat dilihat bahwa tanaman *Typha latifolia* mampu menyerap logam berat Zn sampai 2,020 mg/L. Kadar Zn pada akar tanaman dengan perlakuan 2 batang tanaman yaitu 1,390 mg/L, pada akar tanaman dengan perlakuan 4 batang



tanaman kadar Zn yaitu 1,596 mg/L, dan pada perlakuan 6 batang tanaman kadar Zn yaitu 2,020 mg/L. Berdasarkan hasil yang diperoleh, perlakuan yang paling efektif menyerap logam berat yaitu pada perlakuan ketiga dengan penambahan 6 batang tanaman *Typha latifolia* dan jerami fermentasi sebanyak 250 gram yaitu sampai 2,020 mg/L .



Gambar 12. Diagram Kadar Zn Pada Akar Tanaman Selama 14 Hari

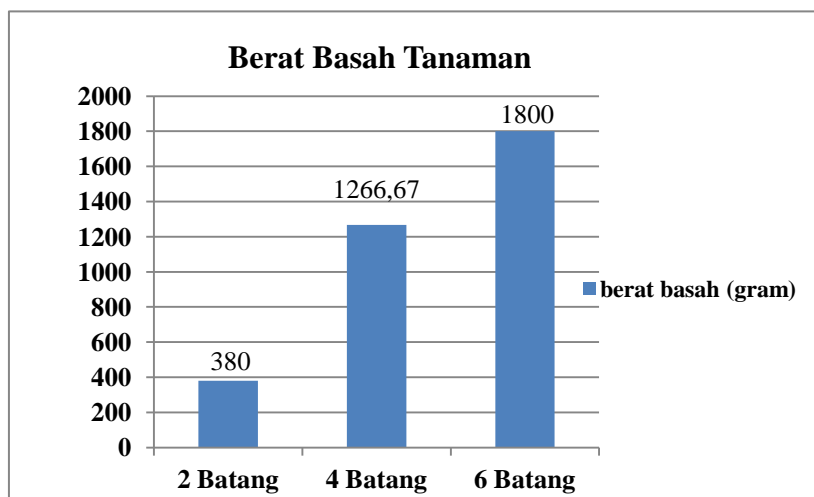
Hasil penelitian ini menunjukkan bahwa tanaman *Typha latifolia* mampu beradaptasi untuk bertahan hidup dalam lingkungan yang terpapar logam berat dan memiliki daya untuk menyerap logam berat. Logam berat diserap oleh akar tumbuhan dalam bentuk ion-ion yang larut dalam air seperti unsur hara yang ikut masuk bersama aliran air (Isa dkk, 2012). Selain itu menurut Darmono, 1995 (dalam Haryati, dkk, 2012), logam tidak seluruhnya masuk ke dalam tanaman disebabkan karena pengendapan logam yang berupa molekul garam dalam air.

## 9. Parameter Pertumbuhan Tanaman

### a. Berat Basah Tanaman

Menurut Foth (1995) berat basah tanaman menunjukkan besarnya kandungan air dalam jaringan atau organ tumbuhan selain bahan organik.

Berat basah paling besaar yaitu pada perlakuan 6 batang dan berat basah paling kecil yaitu pada perlakuan 2 batang tanaman *Typha latifolia*.

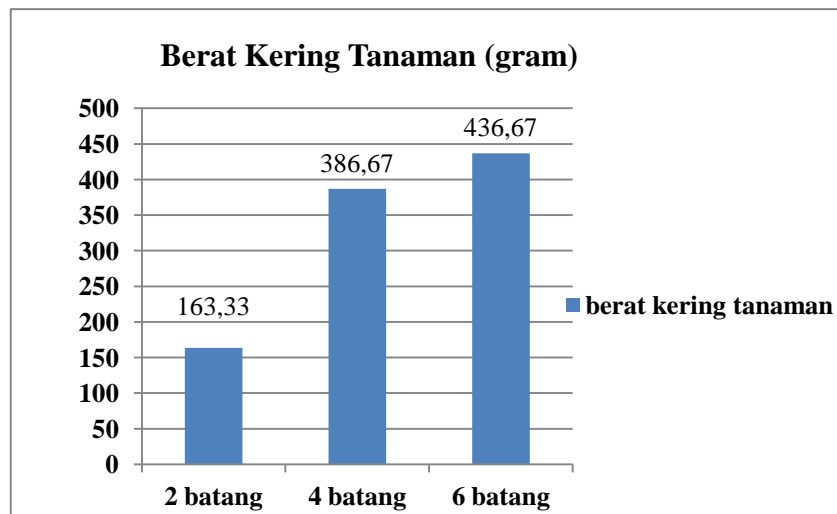


Gambar 13. Diagram Berat Basah Tanaman

Logam berat dikatakan dapat mempengaruhi pertumbuhan tanaman yaitu dapat menurunkan berat basah tanaman. Oleh karena itu dapat dikatakan bahwa logam berat Zn merupakan racun pada tanaman jika dalam jumlah yang banyak, dapat menurunkan berat basah tanaman (Hermawati dkk, 2005). Terhambatnya proses fotosintesis akan berdampak pada penurunan jumlah asimilat yang dibentuk oleh tanaman sehingga berpengaruh pada berat basah tanaman. Sedangkan menurut Salisbury dan Ross (1995), berat basah tanaman menunjukkan aktivitas metabolik tanaman. Nilai berat basah dipengaruhi oleh kadar air jaringan, unsur hara dan hasil metabolisme tanaman.

#### b. Berat Kering Tanaman

Parameter lain yang dilakukan setelah perlakuan fitoremediasi adalah pengukuran berat kering tanaman. Nilai berat kering tanaman paling besar adalah pada variasi jumlah tanaman 6 batang. Nilai berat kering paling kecil yaitu pada variasi jumlah tanaman 2 batang. Semakin banyak logam yang terserap oleh tanaman, semakin besar juga berat kering pada tanaman. Pada proses fitoremediasi tanaman melalui proses fitoekstraksi, rizofiltrasi, dan fitodegradasi memungkinkan terjadinya peningkatan berat kering (Sitompul dan Guritno, 1995).

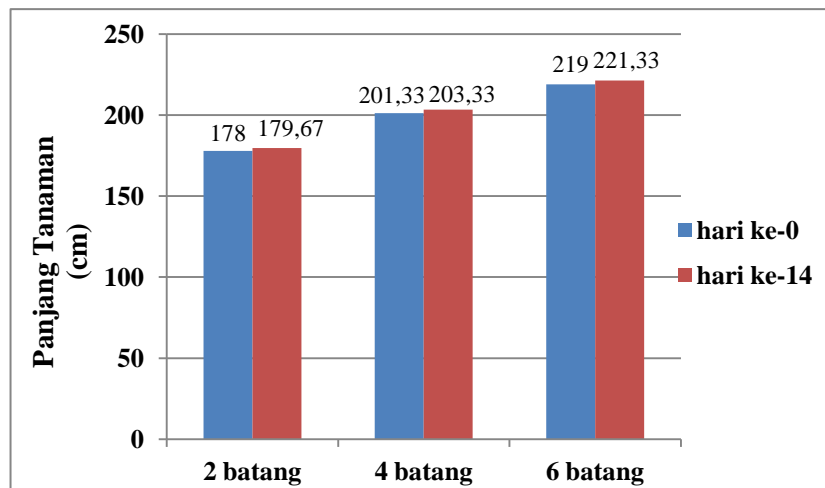


Gambar 14. Diagram Berat Kering Tanaman

Pengukuran berat kering tanaman berkaitan dengan kemampuan tanaman dalam mengakumulasi kontaminan. Berat kering tanaman dianggap sebagai hasil dari semua proses atau peristiwa yang terjadi selama proses pertumbuhan. Berat kering merupakan hasil dari penimbunan hasil bersih asimilasi CO<sub>2</sub> (Sitompul dan Guritno, 1995).

### c. Panjang Tanaman

Pengukuran panjang tanaman/tinggi tanaman dilakukan pada hari ke-0 dan hari ke-14. Pengukuran dilakukan mulai pangkal batang sampai ujung daun tanaman tertinggi. Dari gambar 15, dapat dilihat bahwa tanaman *Typha latifolia* mengalami pertumbuhan ditandai dengan bertambah tingginya/panjangnya tanaman dari hari ke-0 sampai hari ke-14. Pada variasi perlakuan jumlah tanaman 2 batang hari ke-0 panjang tanaman yaitu 178 cm dan pada hari ke-14 panjang tanaman menjadi 179,67 cm. Pada variasi jumlah tanaman 4 batang hari ke-0 panjang tanaman yaitu 201,33 cm dan pada hari ke-14 panjang tanaman menjadi 203,33 cm. Pada variasi jumlah tanaman 6 batang panjang tanaman hari ke-0 yaitu 219 cm dan pada hari ke-14 panjang tanaman menjadi 221,33 cm.



Gambar 15. Diagram Panjang Tanaman Hari ke-0 Sampai Hari ke-14

Hasil penelitian ini didukung oleh Fao (2010) yang menunjukkan bahwa konsentrasi pemberian kadar logam berat seng (Zn) pada tanah dengan kadar tertentu menunjukkan pengaruh pertumbuhan pada *Typha latifolia*. Menurut Atmojo (2003), penambahan bahan organik mempunyai pengaruh nyata terhadap pertumbuhan tanaman karena terdapat senyawa yang mempengaruhi aktivitas biologis yakni senyawa perangsang tanaman (auksin) dan vitamin.

#### d. Tunas/Anakan

Pengamatan jumlah tunas/anakan dilakukan pada hari ke-14. Hasil pengamatan jumlah tunas/anakan yang tumbuh selama 14 hari dapat dilihat pada Tabel 16.

Tabel 16. Jumlah Tunas/Anakan Tanaman *Typha latifolia*

Variasi Jumlah Tanaman	Jumlah Tunas/Anakan
2 Batang	5
4 Batang	4
6 Batang	4

Dari tabel diatas dapat dilihat bahwa selama proses fitoremediasi 14 hari, tanaman mampu bertahan hidup bahkan tumbuh tunas/anakan yang baru pada setiap perlakuan variasi jumlah tanaman. Pada variasi jumlah 2 batang tanaman jumlah tunas/anakan yang tumbuh yaitu 5 batang, pada variasi jumlah 4 batang tanaman jumlah tunas/anakan yang tumbuh yaitu 4 batang, dan pada variasi jumlah 6 batang tanaman jumlah tunas/anakan yang tumbuh yaitu 4 batang. Tanaman *Typha latifolia* ditemukan sebagai tanaman yang toleran terhadap fluktuasi terhadap ketinggian air, salinitas tanah dan paparan logam berat serta menghasilkan pertumbuhan vegetatif dengan rhizomnya (Evasari, 2012).

### e. Warna Daun

Pencemaran logam berat menyebabkan kerusakan dan perubahan fisiologi tanaman yang diekspresikan dalam gangguan pertumbuhan. Menurut Fontes (1995), pencemaran menyebabkan perubahan pada tingkat biokimia sel kemudian diikuti perubahan fisiologi pada tingkat individu hingga tingkat komunitas tanaman. Kondisi morfologi tanaman *Typha latifolia* yaitu warna daun selama 14 hari proses fitoremediasi dapat dilihat pada Tabel 17.

Tabel 17. Warna Daun Tanaman *Typha latifolia*

Perlakuan	Kondisi Tanaman	
	Hari ke-0	Hari ke-14
2 Batang	Tanaman Masih Hijau	Daun menguning, kering, tumbuh tunas baru
4 Batang	Tanaman Masih Hijau	Daun menguning dan tumbuh tunas baru
6 Batang	Tanaman Masih Hijau	Daun menguning dan ada yang kering dan tumbuh tunas baru

Dari tabel 17 dapat dilihat bahwa pada hari ke-0 proses fitoremediasi terlihat bahwa semua tanaman *Typha latifolia* masih berwarna hijau, adapun beberapa daun menguning disebabkan proses aklimatisasi selama 7 hari. Setelah 14 hari, terlihat bahwa tanaman *Typha latifolia* mengalami perubahan warna daun yang awalnya hijau berubah menjadi menguning, ada beberapa yang kering namun tumbuh tunas baru. Pada variasi jumlah tanaman 2 batang hari ke-0 warna daun masih hijau dan pada hari ke-14 daun mulai menguning namun tumbuh tunas yang baru. Pada variasi jumlah tanaman 4 batang, hari ke-0 warna daun masih hijau dan pada hari ke-14 daun mulai menguning, kering namun tumbuh tunas baru. Pada variasi jumlah tanaman 6 batang pada hari ke-0 warna daun masih hijau dan pada hari ke-14 warna daun menjadi menguning ada yang kering, dan tumbuh tunas baru.

Perubahan warna daun hingga daun mengering merupakan tanda gejala nekrosis daun akibat dari pemaparan logam berat Zn selama 14 hari proses fitoremediasi. Palar (1994) mengatakan bahwa gejala nekrosis daun tersebut ditandai dengan berubahnya warna daun dari hijau menjadi kuning hingga coklat dan daun yang keriput. Dalam jaringan tanaman akan menyebabkan kerusakan jaringan pagar. Kerusakan tersebut ditandai dengan klorosis dan nekrosis. Klorosis dapat terjadi jika logam berat

menghambat kerja enzim yang mengkatalisis sintesis klorofil. Sedangkan nekrosis merupakan kematian sel, jaringan, atau organ tumbuhan sehingga timbul bercak, bintik, atau noda (Caroline dan Arron, 2015).

#### f. Jumlah Daun

Selain warna daun, pengamatan morfologi tanaman lainnya yang diamati adalah jumlah daun. Jumlah daun selama 14 hari proses fitoremediasi dapat dilihat pada Tabel 18.

Tabel 18. Jumlah Daun Tanaman *Typha latifolia*

Perlakuan	Jumlah Daun	
	Hari ke-0	Hari ke-14
2 Batang	11	17
4 Batang	24	27
6 Batang	34	37

Berdasarkan hasil pengamatan yang dilakukan pada hari ke-14, jumlah daun pada semua perlakuan dari hari ke-0 sampai hari ke-14 bertambah. Pada variasi perlakuan 2 batang tanaman rata-rata jumlah daun bertambah dari hari ke-0 sampai hari ke-14 sebanyak 4-5 helai daun. Pada variasi perlakuan 4 batang tanaman jumlah daun bertambah dari hari ke-0 sampai hari ke-14 sebanyak 9 helai daun. Pada variasi perlakuan 6 batang tanaman rata-rata jumlah daun bertambah dari hari ke-0 sampai hari ke-14 sebanyak 1-7 helai daun. Jumlah tanaman bertambah dari hari ke-0 sampai hari ke-14 disebabkan karena selama proses fitoremediasi tumbuh tunas/anakan baru.

Sesuai dengan hasil penelitian yang dilakukan oleh Johanna Evasari (2012) menyatakan bahwa tanaman *Typha latifolia* ditemukan sebagai tanaman yang toleran terhadap fluktuasi terhadap ketinggian air, salinitas tanah, dan paparan logam berat serta menghasilkan pertumbuhan vegetatif dengan rhizomnya sehingga dapat dikatakan tanaman *Typha latifolia* mampu menyerap logam berat Zn pada limbah cair batik pewarna indigosol coklat. Hal serupa juga dikatakan oleh Fitriah (2008) bahwa tanaman *Typha latifolia* mampu hidup dan resisten terhadap tanah yang tergenang air lumpur yang tercemar logam berat. Berdasarkan hal di atas, maka tanaman ini bisa digunakan sebagai bioindikator dalam memonitor lingkungan yang tercemar logam berat.

## SIMPULAN DAN SARAN

### A. SIMPULAN

Berdasarkan hasil penelitian dengan pemanfaatan tanaman *Typha latifolia* dan media tanaman jerami fermentasi untuk menurunkan kadar logam berat seng (Zn) dalam limbah cair batik pewarna indigosol coklat yang telah dilakukan, diperoleh kesimpulan bahwa :

1. Efektifitas kombinasi remediasi *Typha latifolia*, jerami hasil fermentasi, dan *Pseudomonas aeruginosa* dalam memperbaiki kualitas limbah cair batik berdasarkan nilai IBR meremediasi Zn sebesar 77,56%, serta menurunkan kadar COD sebesar 76,38%, BOD sebesar 82,62%, TSS sebesar 82,62%, dan TDS sebesar 35%.
2. Jumlah tanaman *Typha latifolia* yang memiliki kemampuan paling baik dalam menurunkan logam Zn dalam limbah cair batik yaitu pada variasi perlakuan penambahan 6 batang tanaman *Typha latifolia* yaitu 77,56% dan variasi jumlah tanaman yang paling banyak menyerap logam berat Zn pada akar selama 14 hari proses fitoremediasi yaitu pada perlakuan 6 batang sebesar 2,020 mg/L

### B. SARAN

Saran yang perlu diberikan setelah melihat dan membaca hasil penelitian ini adalah:

1. Perlu dilakukan penelitian lebih lanjut dengan memberikan variasi jumlah tanaman *Typha latifolia*, penambahan jerami hasil fermentasi, dan *Pseudomonas aeruginosa* yang efektif untuk menurunkan kadar logam berat seng (Zn) agar mencapai rentang baku mutu.
2. Perlu dilakukan penelitian lebih lanjut dalam jangka waktu 21 hari untuk remediasi dengan penambahan tanaman *Typha latifolia*, jerami hasil fermentasi dan *Pseudomonas aeruginosa* agar kualitas limbah cair industri batik mencapai rentang baku mutu.

## DAFTAR PUSTAKA

- Andini, dkk. 2015. Fitoremediasi Lahan Tercemar Logam Pb Dan Cd Dengan Menggunakan Jerami Hasil Fermentasi *Trichoderma Viride* Yang Dipapar Radiasi Sinar Gamma Dosis 250 Gray. Penelitian Dasar Ilmu Pengetahuan dan Teknologi Nuklir 2015 Pusat Sains dan Teknologi Akselerator - BATAN. Yogyakarta.
- Atmojo, S. W., 2003. *Peranan C-Organik Terhadap Kesuburan Tanah dan Upaya Pengelolaannya*. USM, Surakarta. Halaman : 212.
- Balai Besar Teknik Kesehatan Lingkungan dan Pengendalian Penyakit. 2012. *Laporan Hasil Pengujian Laboratorium Fisika Kimia Padatan dan B3*. Balai Besar Teknik Kesehatan Lingkungan dan Pengendalian Penyakit, Yogyakarta.

- Effendi, H. 2003. *Telaah Kualitas Air Bagi Pengelolaan Sumber Daya dan Lingkungan Perairan*. Kanisius, Yogyakarta. Halaman : 57, 176-178.
- Environmental Protection Agency. 2000. Introduction to phytoremediation. National Risk Management Research Laboratory, Ohio, EPA/600/R-99/107.
- Eva, Setiawati. 2004. *Kajian Eceng Gondok (Eichornia crassipes) Sebagai Fitoremediasi*. FMIPA Universitas Diponegoro Semarang. Halaman : 11-15.
- Evasari Johanna., 2012. Pemanfaatan Lahan Basah Buatan dengan Menggunakan Tanaman *Typha Latifolia* Untuk Mengolah Limbah Cair Domestik. *Skripsi S1*. Program Studi Teknik Lingkungan, Universitas Indonesia, Jakarta. Halaman : 54-109.
- Fitriah F, 2009. Analisis Kandungan Logam Timbal (Pb) pada *Typha latifolia* Di Genangan Air Lumpur Lapindo Sidoarjo. *Skripsi*. Tidak Dipublikasikan. Surabaya : Universitas Negeri Surabaya. Halaman : 4-5.
- Fontes. 1995. Color Stability Of Nanofoil Composite : Effect Of Different Immersion Media. *Journal of Applied Oral Science*. Halaman 388-391.
- Foth, H.D. 1995. *Dasar-dasar Ilmu Tanah*. Edisi ke-7. Penerjemah: Purbayanti, E.D., D.R. Lukiwati, dan R. Trimulatsih. Yogyakarta : Universitas Gadjah Mada. Halaman : 39.
- Hariyati. 1995. Penggunaan Eceng Gondok Dan Kayu Apu Untuk Meningkatkan Kualitas Limbah Cair Pabrik Kulit P.T. Budi Makmur Jaya Murni Yogyakarta. *Skripsi*. Yogyakarta: Fakultas Biologi Universitas Gadjah Mada. Halaman : 2-9.
- Haryanti, 2012. *Fitoremediasi Phospat Dengan Pemanfaatan Eceng Gondok (Eichornia crassipes)*. Studi Kasus Pada Limbah Cair Industri Kecil. Universitas Diponegoro. Semarang.
- Isa, dkk. 2014. *Potensi Tanaman Genjer Sebagai Akumulator Logam Pb Dan Cu*. Fakultas Matematika Dan IPA. Universitas Negeri Gorontalo. Halaman : 5-9.
- Johanna Evasari. 2012. Pemanfaatan Lahan Basah Buatan Dengan Memanfaatkan Tanaman *Typha latifolia* Untuk Mengelola Limbah Cair Domestik. *Naskah Skripsi S-1*. Fakultas Teknik Program Studi Teknik Lingkungan Universitas Indonesia. Depok. Halaman : 54-109.
- Lamit, Siti Chuzaemi, Ni Nyoman Tri puspaningsih, dan Kusmartono. 2006. Inokulasi Bakteri Xilanolitik Asal Rumen Sebagai Upaya Peningkatan Nilai Nutrisi Jerami Padi. *Jurnal PROTEIN*. Vol. 14. No. 2,
- Melithia, C. L.A. Jhonson, Dan W. Amber. 1996. Ground Water Pollution : In Situ Biodegradation. Down Loading, Available at [http : www.Cee. Edu/Program Areas/Environmental tetch/gw\\_primer/Group 1/ind/ex/html](http://www.Cee.Edu/ProgramAreas/Environmental_tetch/gw_primer/Group_1/ind/ex/html).



- Ninggar, R. D. 2014. Kajian Yuridis Tentang Pengendalian Limbah Batik Di Kota Yogyakarta. *Naskah Skripsi S-1*. Fakultas Hukum Universitas Gadjah Mada, Yogyakarta.
- Radojevic dan Vladimir, B. N. 1999. *Partical Environmental Analysis*. University of Chambridge, England. Halaman : 291.
- Salisbury, F. B dan C. W. Ross. 1992. Fisiologi Tumbuhan. Penerbit ITB Bandung. Halaman : 54-59.
- Shinta Elystia, Aryo Sasmita, dan Purwanti. 2014. Pengolahan Kandungan COD Limbah Cair Pabrik Kelapa Sawit Oleh *Typha latifolia* Dengan Metode Fitoremediasi. *Jurnal Teknik Lingkungan UNAND 11 (2) : 88-95*.
- Sitompul, S.M dan B. Guritno. 1995. *Analisis Pertumbuhan Tanaman*. Yogyakarta : Gadjah Mada University. Yogyakarta. Halaman : 124.
- Sugiharto. 1987. *Dasar-Dasar Pengelolaan Air Limbah*. Universitas Indonesia Press, Jakarta. Halaman: 110.
- Sutrisno, C. D. dan Suciastuti, E. 1987. *Teknologi Penyediaan Air Bersih*. PT Bina Aksara, Bandung. Halaman : 27.