

II. TINJAUAN PUSTAKA

A. Batik

Salah satu karya seni di Indonesia adalah batik, seni batik memiliki nilai budaya daerah dengan berbagai corak atau motif yang beragam. Batik yang dapat dijumpai seperti batik tulis, cap tradisional dan *printing*. Keindahan batik kini menjadi salah satu sasaran utama sebagai buah tangan dalam industri pariwisata bagi para wisatawan (Poespo, 2009). Provinsi Daerah Istimewa Yogyakarta merupakan salah satu sasaran wisata yang menarik bagi wisatawan lokal dan mancanegara. Jumlah wisatawan setiap tahun mengalami peningkatan kurang lebih 15-16 %. Salah satu usaha industri pariwisata yaitu sentra industri batik (Munawaroh, 2000)

Batik ditetapkan oleh *United Nations Educational, Scientific, and Culture Organization* (UNESCO) pada tanggal 2 Oktober sebagai salah satu warisan budaya dunia. Keputusan Presiden No. 33 Tahun 2009 memutuskan tanggal 2 Oktober sebagai Hari Batik Nasional. Pembuatan batik dilakukan dengan menggunakan canting dan pewarna, lilin atau malam untuk membentuk motif dan warna (Nurrohmah, 2014).

Pembuatan batik tulis langsung dilakukan menggunakan canting dan dapat terlihat jelas pada kedua sisi kain sehingga pembuatan membutuhkan waktu yang lebih lama. Batik cetak atau cap dikerjakan menggunakan cap yang terbuat dari tembaga dan memiliki tekstur atau corak batik. Perbedaan batik cap dengan batik tulis adalah terlihat dengan jelas pengulangan pola yang sama

(Lestari, 2012). Batik lukis adalah atau motif yang digambarkan pada kain menggunakan canting dan kuas (Inayah, 2012).

Bahan lainnya yang mendukung dalam pembuatan batik yaitu zat warna, soda ash, malam atau lilin, natrium hidrosulfat, kaporit, sabun, air, kaustik soda, asam cuka, minyak tanah, bensin dan kanji. Perwarna batik berdasarkan sumbernya terbagi menjadi dua yaitu alami dan sintetis. Pewarna alami umumnya diperoleh dari tumbuhan melalui proses mordanting, pewarnaan dan fiksasi. Penambahan unsur logam seperti tawas dan Al digunakan agar pewarna alami dapat bertahan lebih lama dan warna terlihat jelas (Daranindra, 2010).

Zat warna sintetis menurut Daranindra (2010), secara umum terbagi menjadi tiga, sebagai berikut:

1. Pewarna reaktif

Zat warna yang dapat mengikat kuat pada kain, yang umum digunakan yaitu remazol. Jenis zat warna ini mudah larut dalam air, warna sulit pudar, daya afinitas rendah dan penambahan natrium. Remazol digunakan pada tahap pencelupan dan penggambaran pada kain. Penambahan kandungan natrium silikat pada pewarna reaktif agar meningkatkan daya afinitas.

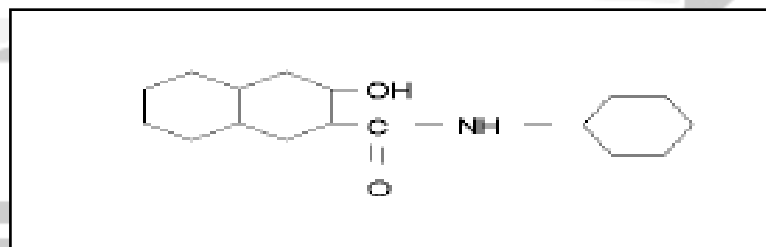
2. Zat warna indigosol

Mudah larut dalam air, berwarna jernih sehingga dilakukan oksidasi menggunakan larutan asam pekat untuk memunculkan warna, Natrium Nitrit digunakan sebagai oksidator. Warna indigosol digunakan dalam

proses pencelupan dan penggambaran pada kain, selain itu warna yang dihasilkan adalah warna lembut atau pastel. Beberapa jenis dari warna indigosol diantaranya indigosol yellow, indigosol Green IB, indigosol Yellow JGK, Indigosol Blue 04B, Indigosol Orange HR, Indigosol Grey IBL.

3. Pewarna naphthol

Tidak larut dalam air sehingga menggunakan kosetik soda. Proses batik menggunakan pewarna naphthol yaitu pencelupan sebanyak dua kali dan warna yang dihasilkan cenderung tua. Contoh pewarna naphthol diantaranya yaitu Naptol AS-G, Naptol AS-LB, Naptol AS-BO dan Naptol AS-D. Pewarna naphthol dapat dikombinasi menggunakan garam diazodium agar warna yang difixasi dapat terlihat lebih jelas.



Gambar 1. Struktur Naphthol AS
(Sumber: Pancapalaga dkk., 2014)

Sasongko dan Tresna (2010) menyebutkan, metode dalam produksi industri batik mengalami pengembangan, yaitu menggambar menggunakan malam dan canting, mencelupkan pada pewarna, cap dan produksi menggunakan mesin. Tahap pembuatan batik menggunakan bahan kimia yang dimungkinkan adanya kandungan logam berat. Salah satunya pada tahap proses

pewarnaan yang diindikasikan adanya pencampuran dengan bahan kimia yang bersifat racun dan menjadi limbah

B. Limbah Batik

Menurut Sugiharto (1987), air limbah industri tergantung pada ukuran jenisnya, apakah unit tersebut besar atau kecil, pengawasan proses industri, penggunaan air serta derajat pengolahan airnya. Air limbah industri diperkirakan sekitar $50\text{m}^3/\text{ha}/\text{hari}$ dengan pertimbangan 85-95% dari jumlah air yang digunakan adalah air limbah. Menurut Soeparman dan Suparmin (2002), limbah cair industri memiliki kandungan BOD berkisar 5 hingga 20 kali lebih besar dibandingkan limbah cair domestik.

Menurut Sugiharto (1987), limbah merupakan sisa akhir dari kegiatan industri, pertanian dan rumah tangga, dapat berupa bahan organik dan anorganik. Limbah sebagai bahan sisa memiliki kandungan yang dapat bersifat toksik atau tidak, sehingga menjadi permasalahan. Limbah terbagi menjadi limbah padat, limbah cair, limbah gas. Riyanto (2014), Kementerian Lingkungan Hidup tahun 2012 mencatat sebesar 75,25% adalah sungai tercemar, sebesar 22,52% adalah sungai tercemar sedang sedangkan 1,73% masuk dalam sungai tercemar ringan.

Menurut Laksono (2012), limbah cair dapat mempengaruhi pencemaran perairan dan air tanah karena adanya kandungan bahan kimia dari kegiatan. Limbah cair industri berasal dari sisa air pemakaian untuk produksi, minyak ataupun pelumas. Kandungan limbah cair industri antara lain arsenik, kadmium

(Cd), krom (Cr), timbal (Pb), tembaga (Cu), zinc (Zn), zat warna, hidrokarbon terhalogenasi dan pelarut organik (Sunardi, 2011).

Salah satunya limbah batik yang menimbulkan permasalahan bagi lingkungan, sebagian besar produksi batik oleh produsen dilakukan dengan cara sederhana dan kurangnya sistem pengolahan air limbah. Air limbah batik yang dihasilkan umumnya dibuang langsung ke saluran perairan (Lestari, 2012). Besarnya produksi batik berbanding lurus dengan besarnya limbah yang dihasilkan. Limbah batik memiliki kandungan bahan berbahaya dan beracun yang berbahaya (Limbah B3), apabila dibuang langsung ke lingkungan. Proses pewarnaan merupakan sumber limbah B3 yang dihasilkan, hal ini menyebabkan warna lingkungan air sebagai pembuangan limbah menjadi lebih hitam pekat (Riyanto, 2014).

Hal ini dapat mempengaruhi nilai COD, BOD, TSS maupun kadar asam yang dapat menyebabkan kematian makhluk hidup (AL-kdasi dkk., 2004) dalam (Suprihatin, 2014). Limbah cair batik yang dibuang langsung maupun telah dilakukan pengolahan, harus memenuhi standar baku mutu limbah cair yang telah ditetapkan oleh Peraturan Daerah Daerah Istimewa Yogyakarta No. 7 Tahun 2016. Baku mutu limbah cair batik dapat dilihat pada Tabel 1.

Tabel 1. Baku Mutu Limbah Cair Untuk Kegiatan Industri Batik

Parameter	Satuan	Kadar & Beban Pencemaran
		Kadar Max
		(mg/L)
pH		6,0 – 9,0
Temperatur		$\pm 3^{\circ}$ terhadap suhu udara
BOD	mg/L	85
COD	mg/L	250

Lanjutan Tabel 1.

TSS	mg/L	60
TDS	mg/L	2.000

Sumber : Perda DIY No. 7 Tahun 2016.

Proses pengendapan lilin atau malam dilakukan untuk penggunaan kembali, akibatnya timbul bau akibat aktivitas bakteri anaerob (Astirin dan Winarno, 2000). Fenol digunakan sebagai pelarut pewarna pada kain, termasuk dalam pewarna sintetik (Yuhani dkk, 2002). Fenol merupakan hidrokarbon aromatis yang bersifat toksik, mudah terbakar dan korosif sehingga berbahaya bagi lingkungan dan organisme (Waluyo, 2009). Batik sebagai usaha industri menghasilkan limbah bersifat racun seperti logam berat krom (Cr), timbal (Pb), Nikel (Ni), tembaga (Cu) dan mangan (Mn) (Mahida, 1984). Kandungan logam bersifat toksik dan karsinogen bagi makhluk hidup (Widaningrum dkk., 2007)

Logam berat pada limbah batik lainnya seperti Pb dan Cr bersumber dari zat pewarna yang mengandung CrCl_3 , $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$, sumber lainnya berasal dari zat pengikat warna seperti $\text{Cr}(\text{NO}_3)_2$ dan PbCrO_4 (Murniarti dkk., 2015). Selain adanya logam berat, air limbah juga mengandung senyawa organik seperti protein, karbohidrat, lemak atau minyak (Rumidatul, 2006). Logam berat yang bersifat toksik dapat menyebabkan kematian pada organisme apabila masuk dalam rantai makanan. Bahan pencemar organik juga menimbulkan rusaknya nilai estetika, mengundang bakteri patogen seperti *Salmonella* spp., *Escherichia coli* dan yang lainnya sehingga timbulnya berbagai penyakit seperti diare atau tifus (Sembel, 2015).

Soeparman dan Suparmin (2001), menyatakan kandungan nutrisi seperti nitrogen dan fosfor, logam berat dan bahan lainnya seperti lemak,

deterjen dan bahan radioaktif. Lemak sangat sulit tercampur dengan air sehingga diperlukan pemisah, deterjen yang berasal dari industri dan rumah tangga menyebarkan kandungan zat pencemar seperti fosfat.

Limbah yang dihasilkan dari proses pembuatan batik dapat dilihat pada

Tabel 2.

Tabel 2. Limbah Berdasarkan Kegiatan Pembatikan

No.	Proses	Kegiatan	Limbah
1	Pendahuluan	Pemotongan mori, pengetelan, pemolaan, dan ngemplong	Sobekan mori, limbah cair larutan pengetelan (soda abu, minyak kacang, deterjen, limbah cair cucian)
2	Pembatikan	Batik tulis atau cap	Uap lilin dan tetesan lilin
3	Pewarnaan	Pewarnaan coletan atau pencelupan	Limbah cair warna seperti, zat warna reaktif, indigosol, naphthol, rapid, indanthrene. Bahan kimia seperti soda abu, kostik soda, surfaktan, waterglass, natrium nitrit, asam klorida, natrium hidrosulfit dan limbah cucian.
4	Pelepasan lilin	Pelepasan lilin (pelorodan) atau celupan	Limbah padat lilin batik dan limbah cair cucian
5	Penyempurnaan	Penambahan kualitas agar lembut, rahan lama dan penganjian	Limbah cair sisa larutan penyempurna.

Sumber : Sulaeman (2004).

Penggunaan zat warna menyebabkan pencemaran lingkungan yaitu peningkatan konsentrasi COD, BOD, TSS, pH, amoniak, sulfida, fenol, minyak dan lemak. Salah satu limbah batik adalah berasal dari proses pewarnaan, yang menghasilkan warna yang pekat dan keruh. Penggunaan zat warna sintetik

menghasilkan senyawa organik *non-biodegradable* (Suprihatin, 2014). Zat pewarna sintetik terbagi menjadi dua yaitu gugus auksokrom yang terdiri dari gugus $-NH_2$, $-OH$, $-SH$, ini berperan menyediakan bahan dalam pelekatan zat warna. Sedangkan, gugus kromofor yang berperan dalam penampakan warna (Christie, 2001; Cairns, 2004). Salah satu gugus kromofor adalah azo ($N=N$), remediasi zat warna dapat dilakukan secara anaerob dengan bantuan enzim azoreductase. Zat warna azo tidak dapat digunakan sebagai sumber nutrisi, dikarenakan bersifat stabil.

C. Bioremediasi

Menurut Fahrudin (2010), bioremediasi merupakan pengolahan lingkungan yang tercemar dengan cara biologi, umumnya berhubungan pada limbah pencemaran tanah dan minyak. Aktivitas mikroorganisme pada limbah, terdapat beberapa menghasilkan senyawa yang beracun, zat pencemar dirombak oleh mikroorganisme menjadi bahan yang tidak berbahaya melalui reaksi enzimatik. Menurut Priadie (2012), polutan pada kandungan limbah digunakan oleh mikroorganisme sebagai sumber nutrisi sehingga menurunkan kadar polutan. Penurunan kadar terjadi karena mikroorganisme mengeluarkan enzim akan bereaksi dengan polutan menjadi senyawa sederhana, metabolit tidak beracun dan berbahaya.

Menurut Fahrudin (2010), biodegradasi lebih banyak terjadi pada bahan atau limbah organik, melalui enzim yang dihasilkan mikroorganisme menjadi bahan yang tidak berbahaya seperti CO_2 , gas metan, air, garam serta bahan samping lainnya. Kelebihan remediasi adalah pengolahan limbah lebih

cepat, metode yang efektif dan ekonomis, proses alami, murah, lebih fleksibel dan skala dapat divariasikan. Kekurangannya adalah tidak semua senyawa kimia dari mikroorganisme dapat mendegradasi logam berat dan senyawa berkhlor.

Lingkungan mencakup faktor biotik dan abiotik yang mempengaruhi suksesnya bioremediasi. Contoh faktor abiotik adalah suhu, sumber makanan yang tersedia, cahaya serta derajat keasaman. Faktor biotik diketahui berdasarkan adanya mikroorganisme dan kepadatannya (Mallick dan Rai, 1993).

Menurut Fahrudin (2010), dalam bioremediasi dapat dilakukan menggunakan dua teknik. Pertama adalah *Succeptibility* yang berasal dari kontaminan, tidak semua kontaminan dapat didegradasi berkaitan dengan sifat kontaminan yang dapat dilakukan didegradasi menggunakan mikroba. Kedua adalah kondisi lingkungan yang mempengaruhi, hal ini berkaitan dengan pengawasan baik secara fisik dan kimia.

Menurut Kristanto (2002), proses perombakan pada limbah oleh mikroorganisme berkaitan dengan limbah. Kualitas limbah dipengaruhi oleh volume, kandungan bahan pencemar yang terkandung dan frekuensi pembuangan limbah. Menurut Fahrudin (2010), dalam proses remediasi dalam degradasi dipengaruhi sebagai berikut:

1. Bioagent, merupakan sumber mikroba yang akan merombak bahan pencemar menjadi senyawa lebih sederhana. Penggunaan mikroba

dapat dilakukan dengan menggunakan mikroba dari luar yang disebut dengan bioaugmentasi.

2. Bioaktifitas, sumber energi yang digunakan dalam reaksi redoks pada mikroba. Hal ini dipengaruhi oleh kondisi lingkungan seperti pH, suhu dan nutrisi yang berperan dalam proses degradasi. Penambahan nutrisi untuk pertumbuhan mikroba dalam biodegradasi disebut biostimulasi, nutrisi dapat berupa sumber karbon sederhana, nitrogen, fosfor dan unsur lainnya.
3. Biokimia, merupakan jalur degradasi bahan pencemar yang terjadi melalui metabolisme. Metabolisme pada mikroba terdiri atas beraneka macam, yang menghasilkan senyawa yang dari proses biodegradasi tak sempurna dan terakumulasi. Perombakan bahan tersebut dapat melalui reaksi enzimatik atau peran dari aktivitas mikroba lainnya. Proses degradasi berlangsung sempurna ditunjukkan dengan adanya kandungan karbon dioksida, air dan biomassa sel.
4. Bioavailibilty, kemampuan bakteri dalam menghasilkan enzim yang digunakan untuk degradasi bahan pencemar.

D. Mekanisme Detoksifikasi Logam

Pengelolaan air tercemar menggunakan teknik bioremediasi memiliki prinsip *self purification* yang dipengaruhi aktivitas mikroorganisme. Beberapa mikroorganisme memiliki kemampuan beradaptasi dalam lingkungan tercemar dikarenakan adanya modifikasi polutan yang beracun menjadi lebih sederhana, tidak bersifat toksik atau berbahaya (Priadie, 2012). Mikroba yang terdapat

didalam air tercemar, diantaranya mampu melakukan detoksifikasi ion logam, menggunakan ion logam dalam pertumbuhannya. Ion logam seperti Fe, Cu, P, N, Na dan Mn digunakan oleh mikrobia dalam mengaktifkan metaloenzim yang akan digunakan dalam proses transpor elektron dan pembentukan makanan (Yazid, 2007).

Mikroba memiliki lapisan ekstraseluler, membran polisakarida, dinding sel permeabel yang berperan dalam meningkatkan ion logam pada air tercemar sehingga mampu beradaptasi (Yazid, 2007). Bakteri merupakan salah satu dari mikrobiota yang digunakan dalam bioremediasi, melalui aktivitasnya dan interaksi terhadap logam.

Interaksi detoksifikasi logam oleh bakteri menurut Fahrudin (2010) adalah sebagai berikut:

1. Ion logam yang masuk ke membran bakteri, mengalami proses adsorpsi, pertukaran ion, reaksi redoks, presipitasi, difusi dan transport (*influx* dan *efflux*).
2. Ion logam yang berada pada dinding sel akan mengalami adsorpsi, pertukaran ion, ikatan kovalen, entrapment partikel, reaksi redoks dan presipitasi.
3. Bahan pencemar yang terkait dengan dinding sel mengalami kapsul polisakarida, pertukaran ion, entrapment partikel, pengikatan dan presipitasi non-spesifik.
4. Reaksi ekstraseluler terhadap logam meliputi presipitasi dengan produk ekskresi, *chelation* dan siderofor.

5. Reaksi intraseluler terhadap logam meliputi metallotionin, peptida metal-glutamil, pengikatan non-spesifik, organella sel dan reaksi redoks.

Mekanisme bakteri dalam bioremediasi air tercemar logam sebagai berikut:

1. Biosorpsi

Biosorpsi merupakan pengikatan logam melalui mekanisme bakteri, diantaranya adsorpsi dan pertukaran ion. Biosorpsi mengikat logam dari substansi polimer yang disekresikan oleh bakteri, selanjutnya kandungan ion logam tersebut akan diikat oleh material biologis atau sel mati. Biosorben (biomassa) digunakan dalam proses absorpsi melalui peningkatan logam pada dinding sel dan pertukaran ion (Fahrudin, 2010).

2. Bioakumulasi

Bakteri yang terdapat dalam pencemaran air logam yang berbahaya mengeluarkan polisakarida ekstraseluler yang mengandung gugus fungsional. Gugus fungsional kemudian akan mengikat logam atau sebagai bioakumulator, menghasilkan metabolit organik yang bersifat pengkelat dan membentuk kompleks, presipitasi dan kristalisasi ekstraseluler (Saraswati dan Yuniarti, 2007).

3. Presipitasi

Ion logam akan terikat pada permukaan sel melalui mekanisme sehingga terbentuk presipitat tidak larut, kemudian dipisahkan menggunakan proses sedimentasi atau filtrasi (Fu dan Wang, 2011). Presipitasi menggunakan senyawa kimia yang menyebabkan adanya padatan

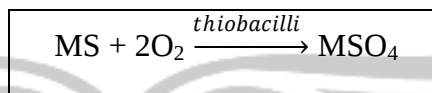
seperti flok dan lumpur (Siregar, 2005). Proses biopresipitasi terjadi secara anaerob (Martinez dkk., 2007).

4. Bioreduksi

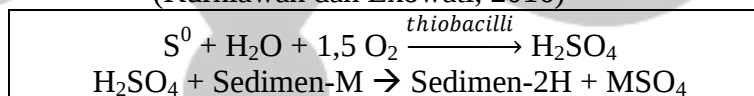
Bioreduksi pada mikroba terjadi secara langsung dan tidak langsung di lingkungan yang tercemar oleh ion logam. Bioreduksi secara langsung terjadi pada aktivitas enzimatis, sebaliknya secara tidak langsung berlangsung melalui proses metabolisme (reduksi-oksidasi) (Wani dan Ayoola, 2015).

5. Bioleaching

Bioleaching adalah pelarutan, pelepasan logam yang terdapat pada lingkungan tercemar logam atau sedimentasi melalui proses melepaskan dan ekstraksi logam (Isa dan Retnowati, 2013). Mekanisme *bioleaching* terbagi menjadi dua yaitu langsung dan tidak langsung. Proses langsung melalui proses metabolisme, sedangkan tidak langsung melalui hasil metabolisme.



Gambar 2. Mekanisme *bioleaching* langsung.
(Kurniawan dan Ekowati, 2016)



Gambar 3. Mekanisme *bioleaching* tidak langsung.
(Kurniawan dan Ekowati, 2016)

E. Parameter Uji

1. Derajat Keasaman (pH)

Faktor yang mempengaruhi laju pertumbuhan mikroba dan dapat berubah seiring dengan pertumbuhan mikroba. Derajat keasaman (pH) dapat

meningkatkan dikarenakan adanya amonia atau gas nitrogen hasil dari reduksi nitrat, sedangkan penurunan derajat keasaman (pH) akibat adanya asam organik dari proses fermentasi. Derajat keasaman (pH) yang baik bagi pertumbuhan mikroorganisme adalah 6,0 – 8,0 (Fahrudin, 2010).

2. Suhu

Suhu mempengaruhi sifat fisik, kimia dan degradasi zat pencemar.

Suhu mempengaruhi jumlah mikroba yang ada, suhu optimal dalam degradasi adalah 30-40°C (Fahrudin, 2010).

3. COD (*Chemical Oxygen Demand*)

COD (*Chemical Oxygen Demand*) yang terlarut dalam air dan membentuk asam karbonat sehingga pH dapat meningkat. COD dipengaruhi oleh curah hujan, kecepatan dan salinitas (Michael, 1994). Menurut Odum (1996), karbondioksida merupakan faktor penting, jika nilai karbondioksida tinggi menunjukkan jumlah oksigen yang rendah dan menyebabkan organisme air mati.

4. BOD (*Biological Oxygen Demand*)

Kandungan oksigen dibutuhkan dalam bioremediasi secara aerob serta menjadi faktor pembatas dalam degradasi. Oksigen diperlukan dalam katabolisme dan oksidasi yang dibantu dengan enzim oksidase. Berikut perbedaan proses aerob dan anerob, dapat dilihat pada Tabel 3.

Tabel 3. Perbedaan Proses Aerob dan Anaerob.

Ciri-ciri	Aerob	Anaerob
Akumulasi <i>sludge</i>	Tidak ada	Ada
Nutrien yang dibutuhkan	Banyak	Sedikit
Menghasilkan metan	Tidak ada	Ada

Lanjutan Tabel 3. Perbedaan Proses Aerob dan Anerob

Aerasi	Ada	Tidak ada
Proses	Cepat	Lambat
Degradasi	Tuntas	Tidak tuntas

Sumber : Fahrudin (2010)

Biological Oxygen Demand (BOD) dapat menentukan pencemaran dan kualitas air. Angka BOD menunjukkan jumlah oksigen yang digunakan mikroorganisme dalam melakukan penguraian bahan organik. Apabila kadar oksigen cukup maka proses penguraian berlangsung secara aerobik dan bahan organik terkonsumsi. Jika kadar oksigen yang larut sedikit atau tidak cukup maka penguraian berlangsung anaerobik sehingga menyebabkan bau busuk dan warna abu-abu tua hingga hitam pada air (Sukadi, 1999). Kebutuhan oksigen dapat digunakan untuk mengetahui proses sintesis sel dan aktivitas oksidasi oleh mikroorganisme, sehingga diketahui kebutuhan oksigen yang diperlukan untuk dalam proses oksidasi (Kristanto, 2002).

5. TDS (*Total Dissolved Solids*)

TDS adalah total padatan terlarut berupa senyawa organik atau anorganik, mineral dan garamnya (Fardiaz, 1992). Menurut Michael (1994), kekeruhan terjadi karena pemupukan hara atau suatu unsur di dasar sungai, hal ini juga digunakan sebagai parameter dalam mengetahui tingkat pencemaran air. Menurut Kanegsberg dan Kanegsberg (2011), pengukuran tingkat kekeruhan air dapat dilakukan dengan menggunakan TDS meter. TDS meter mudah dan banyak digunakan, hasil yang diperoleh juga lebih

akurat. Kelemahannya adalah harga alat yang mahal dan banyak membutuhkan waktu.

6. TSS (*Total Suspended Solid*)

TSS merupakan padatan atau bahan yang terdiri dari pasir, lumpur atau jasad renik yang terbawa dari lingkungan ke badan air (Effendi, 2012). Kandungan zat padat mempengaruhi penetrasi cahaya yang masuk ke dalam perairan, sehingga TSS dan kecerahan memiliki hubungan yang berbanding terbalik (Gazali dkk., 2013). Menurut Fardiaz (1992), keberadaan padatan tersuspensi yang besar menyebabkan warna perairan menjadi keruh, ketersediaan oksigen menipis. Hal ini menyebabkan kebutuhan oksigen oleh makhluk hidup semakin berkurang dan mempengaruhi terbentuk oksigen dari proses fotosintesis.

7. Logam Berat

Menurut Supraptini (2002), limbah cair industri mengandung As, CN, Cr, Cd, Cu, F, Hg, Pb dan Zn. Beberapa logam berat lainnya seperti Pb dan Cr ditemukan pada limbah cair, dampak yang ditimbulkan berupa diare hingga gangguan pada sistem saraf. Dampak pada lingkungan seperti perubahan warna menjadi keruh, terdapat partikel padat yang mengapung setya munculnya buih. Kandungan BOD tinggi sehingga oksidasi terjadi dan kematian organisme air tinggi.

Menurut Sugiharto (1987), air limbah industri diperkirakan sekitar $50\text{m}^3/\text{ha}/\text{hari}$ dengan pertimbangan 85-95% dari jumlah air yang digunakan adalah air limbah. Menurut Soeparman dan Suparmin (2002), limbah cair

industri memiliki kandungan BOD berkisar 5 hingga 20 kali lebih besar dibandingkan limbah cair domestik.

a. Logam Cu (Tembaga)

Cu (tembaga) merupakan memiliki warna merah muda kecoklatan hingga keabuan apabila diamati menggunakan mikroskop, berwarna kuning dilihat secara langsung. Umumnya Cu ditemukan dalam bentuk senyawa seperti CuCO_3 dan CuOH dan pada lapisan tanah yaitu kalkosit (Cu_2S), kovelit (CuS) dan kalkopirit (CuFeS_2). Logam Cu dapat teroksidasi seperti bijih kuprit (Cu_2O), tenorit (CuO) (Widowati, 2008). Menurut, Peraturan Pemerintah No 82. Tahun 2001, batas kadar logam Cu dalam perairan yang digunakan adalah 0,2 ppm.

Logam Cu bersifat esensial bagi tubuh dan berperan dalam enzim tironase diantaranya untuk pembentukan pigmen melanin, sitokrom oksidase dan amin oksidase (Widowati, 2008). Logam Cu pada tanaman dibutuhkan dalam pembentukan klorofil, defisit unsur Cu mengakibatkan klorosis. (Parnata, 2004). Logam Cu digunakan dalam bidang industri diantaranya sebagai bahan biosida, pembuatan pipa, sebagai katalisator serta dapat digunakan sebagai larutan *Fehling* dalam analisis gula (Widowati, 2008).

Kegiatan industri menghasilkan limbah yang mengandung logam Cu yang paling besar, hal ini dikarenakan penggunaan sebagai bahan dasar, katalisator dan bahan tambahan. Besarnya kandungan logam Cu tidak dapat diurai di alam, sehingga dapat ditanggulangi dengan

menggunakan tanaman, hewan dan mikroorganisme yang berperan dalam proses dekomposisi. Pencemaran logam dapat terjadi pada manusia melalui air dan makanan, seperti pada ikan yang memiliki tingkat toksisitas $Hg > Cu > Pb > Cd > Al > Zn > Ni > Cr > Co > Mn$ (Widowati, 2008).

Kandungan logam Cu berlebih pada tubuh dapat menyebabkan gangguan kesehatan seperti kolik abdomen, muntah, gastroenteritis dan diare. Ciri lainnya adalah suhu tubuh menurun, jantung berdetak kencang dan *shock* berat. Keracunan akut logam Cu yaitu hematesis, hipotensi, melen, koma dan penyakit kuning. Logam Cu bermanfaat dalam tubuh yaitu dengan batas 0,005 mg/hari/kg dari berat tubuh manusia (Widowati, 2008). Berdasarkan Peraturan Pemerintah No 82. Tahun 2001, syarat baku mutu kandungan Cu pada bagi perairan adalah 0,2 ppm. Menurut Adiwasastra (1986) dalam Suryanti (2011), menyatakan dosis lethal (LD) yaitu keracunan logam Cu mendekati 15 gram yang bersifat simptomatis, ditunjukkan dengan gejala kejang-kejang.

F. Hipotesis

1. Isolat bakteri indigenus mampu meremediasi limbah cair batik pewarna naphthol merah dan menurunkan logam berat Cu.
2. Campuran bakteri IV (33% : 33% : 33%) merupakan campuran yang efektif meremediasi limbah cair batik pewarna naphthol merah dan menurunkan logam berat Cu.