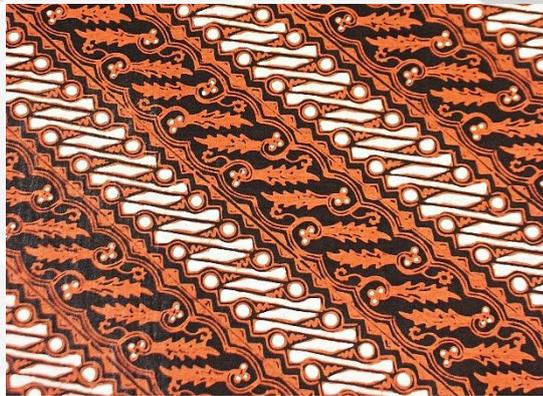


II. TINJAUAN PUSTAKA

A. Deskripsi Batik dan Zat Pewarna

Batik adalah lukisan atau gambar pada kain mori/katun yang dibuat dengan alat bernama canting. Melukis atau menggambar pada kain mori dengan menggunakan canting disebut membatik (Bahasa Jawa: mbatik). Membatik, menghasilkan batik atau batikan, berupa macam-macam motif dan memiliki sifat-sifat khusus yang dimiliki batik (Soewardi, 2008).



Gambar 1. Salah Satu Contoh Motif Batik (Sumber: Dokumentasi Pribadi, 2016)

Berdasarkan proses pembuatannya (Nurainun dkk., 2008) batik terdiri dari 3 jenis yaitu batik tulis, batik cap, dan batik *printing*. Penjelasan dari masing-masing jenis batik tersebut adalah sebagai berikut:

1. Batik Tulis

Semula batik dibuat di atas bahan berwarna putih yang terbuat dari kapas yang dinamakan kain mori. Saat ini batik juga dibuat menggunakan bahan lain seperti sutera, poliester, dan rayon serta bahan sintetis lainnya. Motif batik dibentuk dengan cairan lilin atau malam dengan menggunakan alat yang disebut dengan canting untuk motif halus atau kuas untuk motif besar.



Gambar 2. Proses Pembuatan Batik Tulis (Sumber: Dokumentasi Pribadi, 2016)

Kain yang telah dilukis dengan lilin kemudian dicelup dengan warna yang diinginkan, biasanya dimulai dengan warna-warna muda. Pencelupan kemudian dilakukan untuk motif lain dengan warna lebih tua atau gelap. Setelah beberapa kali proses pewarnaan, kain yang telah dibatik dicelupkan ke dalam bahan kimia untuk melarutkan lilin.

2. Batik Cap

Batik cap menggunakan proses yang sama hanya saja penggambaran motif dilakukan dengan menggunakan cap atau stempel tembaga. Kain digelar di atas meja panjang, lalu cap dicelupkan ke dalam lilin dan ditekan pada kain bolak-balik.



Gambar 3. Proses Pembuatan Batik Cap (Sumber: Dokumentasi Pribadi, 2016)

3. Batik *Printing*, diproduksi dengan mesin.



Gambar 4. Proses Pembuatan Batik *Printing* (Aditya, 2015)

Zat pewarna batik (Daranindra, 2010) adalah zat warna tekstil yang dapat digunakan dalam proses pewarnaan batik baik dengan cara pencelupan maupun coletan pada suhu kamar (25°C), sehingga tidak merusak lilin sebagai perintang warnanya. Berdasarkan sumber/asalnya, zat pewarna batik dibagi menjadi 2 golongan yaitu:

1. Pewarna alami

Zat warna yang diperoleh dari alam/tumbuh-tumbuhan baik secara langsung maupun tidak langsung. Bahan pewarna alam yang bisa digunakan dapat diambil pada tumbuhan di bagian daun, buah, kulit kayu ataupun bunga (Daranindra, 2010)

2. Pewarna buatan/pewarna sintetis

Zat warna kimia mudah diperoleh, stabil, dan praktis pemakaiannya. Zat warna ini merupakan turunan hidrokarbon aromatik seperti benzena, toluena, naftalena, dan antrasena yang merupakan cairan kental berwarna hitam serta terdiri dari despersi karbon dalam minyak. Menurut Daranindra

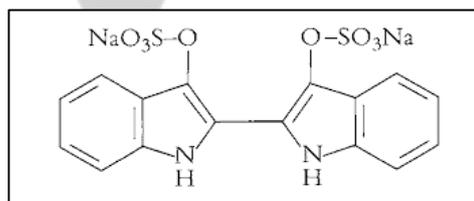
(2010), adapun zat warna yang biasa digunakan untuk mewarnai batik adalah:

a. Zat warna reaktif

Zat warna reaktif umumnya dapat bereaksi dan mengadakan ikatan langsung dengan serat sehingga merupakan bagian dari serat tersebut. Salah satu zat warna reaktif yang saat ini sering digunakan dalam pewarnaan batik adalah remazol. Ditinjau dari segi teknis, pewarnaan batik dengan remazol dapat digunakan dengan cara pencelupan, coletan maupun kuwasan. Zat warna ini memiliki sifat larut dalam air, mempunyai warna yang *brilliant* dengan ketahanan luntur yang baik, daya afinitasnya rendah.

b. Zat warna indigosol

Zat warna indigosol adalah jenis zat warna bejana yang larut dalam air. Larutan zat warna ini merupakan suatu larutan berwarna jernih. Pada saat kain dicelupkan ke dalam larutan zat warna, belum diperoleh warna yang diharapkan. Setelah dimasukkan ke dalam larutan asam (HCl atau H₂SO₄) akan diperoleh warna yang dikehendaki. Indigosol memiliki rumus molekul C₁₆H₁₀N₂Na₂O₈S₂ dengan struktur kimia seperti pada Gambar 5:



Gambar 5. Struktur Kimia Indigosol (Sumber: Timar-Balazsy dan Eastop, 2011)

c. Zat warna naphthol

Zat warna ini merupakan zat warna yang tidak larut dalam air. Untuk melarutkannya diperlukan zat pembantu kostik soda. Pencelupan naphthol dikerjakan dalam 2 tingkat. Pertama pencelupan dengan larutan naphthol, pada pencelupan pertama belum diperoleh warna. Kemudian pencelupan tahap kedua dengan larutan garam diazodium akan diperoleh warna yang dikehendaki.

d. Zat warna rapid

Zat warna ini adalah naphthol yang telah dicampur dengan garam diazodium dalam bentuk yang tidak dapat bergabung. Untuk memperoleh warna yang dikehendaki, difiksasi dengan asam sulfat.

B. Karakteristik Limbah Cair Industri Batik

Limbah cair merupakan gabungan atau campuran dari air dan bahan-bahan pencemar yang terbawa oleh air (Soeparman dan Suparmin, 2001). Baik dalam keadaan terlarut maupun suspensi yang terbuang dari sumber domestik (perkantoran, perumahan, dan perdagangan), sumber industri. Pada saat tertentu akan tercampur dengan air tanah, air permukaan, ataupun air hujan (Soeparman dan Suparmin, 2001).

Dalam industri batik, proses produksi merupakan sumber utama penghasil limbah antara lain pada proses pewarnaan, pencelupan, pencucian, dan pengemasan (Setyaningsih, 2007). Kurniawan dkk (2013) menyatakan bahwa

karakteristik limbah industri batik hampir serupa dengan karakteristik limbah yang berasal dari industri tekstil dan *laundry*, antara lain:

1. Limbah bersifat alkalis
2. Berwarna
3. *Biological Oxygen Demand* (BOD) yang tinggi
4. Suhu air limbah yang tinggi
5. *Suspended Solid* (zat padat tersuspensi) tinggi

Menurut Muljadi (2009), limbah cair industri batik cetak memiliki karakteristik berwarna keruh, berbusa, pH tinggi yaitu 9,7, konsentrasi BOD tinggi yaitu sebesar 129,47 mg/L, dan zat warna dimana di dalamnya terdapat kandungan logam berat. Senyawa logam berat yang bersifat toksik yang terdapat pada buangan industri batik cetak, diduga krom (Cr), Timbal (Pb), Nikel (Ni), tembaga (Cu), dan mangan (Mn). Efek toksik yang muncul pada jaringan dan organ tubuh adalah akibat terjadinya interaksi logam-logam berat dengan molekul-molekul penting sel sehingga merusak struktur dan fungsi sel pada organ target (Endrinaldi, 2010).

Berdasarkan Peraturan Gubernur Daerah Istimewa Yogyakarta Nomor 7 (2010), baku mutu limbah cair untuk kegiatan industri batik mempunyai 8 parameter yang harus terpenuhi sebelum dibuang ke lingkungan. Parameter-parameter tersebut dapat dilihat pada Tabel 1 berikut ini:

Tabel 1. Baku Mutu Limbah Cair Untuk Kegiatan Industri Batik

Parameter	Satuan	KADAR MAX (mg/L)
pH		6.0 – 9.0
Temperatur		$\pm 3^{\circ}\text{C}$ thd suhu udara
Konduktivitas	$\mu\text{mhos/cm}$	1.562,5
BOD	mg/L	50
COD	mg/L	100
TSS	mg/L	200
TDS	mg/L	1000
Minyak Bumi	mg/L	2

(Peraturan Gubernur Daerah Istimewa Yogyakarta, 2010).

Industri batik Winotosastro yang merupakan lokasi tempat pengambilan sampel, Batik Winotosastro pernah melakukan pemeriksaan kualitas limbah padat yang berasal dari endapan hasil proses koagulasi limbah cair pewarna remazol dan pewarna indogolol menggunakan tawas. Pemeriksaan dilakukan oleh Balai Besar Teknik Kesehatan Lingkungan dan Pengendalian Penyakit (BBTKL PP) Yogyakarta (2012). Parameter yang diuji adalah Timbal (Pb), Kadmium (Cd), Tembaga (Cu), Krom Total (Cr), dan Seng (Zn). Hasil uji limbah padat industri batik Winotosastro dapat dilihat pada Tabel 2 berikut ini:

Tabel 2. Hasil Uji Limbah Padat Batik Winotosastro

No	Parameter	Satuan	Hasil Uji	
			13.546 P	13.547 P
1	Timbal (Pb)	mg/kg	< 0, 89	< 0, 89
2	Kadmium (Cd)	mg/kg	< 0, 120	< 0, 120
3	Tembaga (Cu)	mg/kg	7,251	23,135
4	Krom Total (Cr)	mg/kg	< 1,32	4,668
5	Seng (Zn)	mg/kg	51, 423	56,362

Keterangan:

13.546 P : Contoh uji limbah padat Batik Winotosastro Kode 1

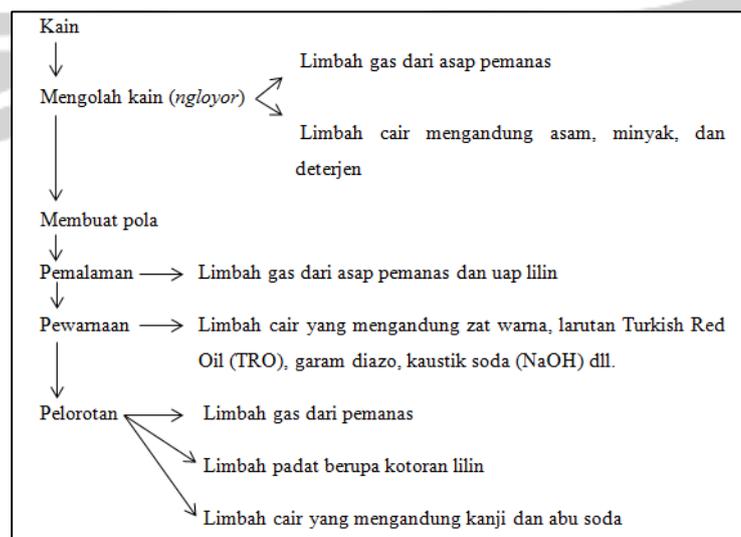
13.547 P : Contoh uji limbah padat Batik Winotosastro Kode 2

(Balai Besar Teknik Kesehatan Lingkungan dan Pengendalian Penyakit Yogyakarta, 2012).

Analisis lain juga dilakukan oleh Aryani dkk (2004), sampel limbah cair industri batik juga diuji oleh Balai Besar Teknik Kesehatan Lingkungan dan Pengendalian Penyakit Yogyakarta. Setelah diuji, diperoleh kadar COD sebesar 2200, kadar BOD 869, TSS 243, dan TDS 1857 mg/l. Kadar COD, BOD, TSS, dan TDS tersebut di atas baku mutu limbah cair untuk kegiatan industri batik menurut Peraturan Badan Lingkungan Hidup Provinsi Daerah Istimewa Yogyakarta (2010). Oleh karena itu limbah industri batik harus diolah terlebih dahulu sebelum dibuang ke badan air.

C. Dampak Limbah Cair Industri Batik

Pencemaran dan dampak terhadap lingkungan (Sembiring, 2008) ditemui di semua tahapan proses produksi pematikan yang meliputi persiapan, pelekatan lilin, pewarnaan, pelorotan dan pencucian. Adapun tahap proses pembuatan batik dan sumber limbah yang dihasilkannya ditunjukkan pada gambar berikut ini:



Gambar 6. Skema Pembuatan Batik dan Sumber Limbah (Sumber: Sembiring, 2008)

Dari skema di atas terlihat bahwa limbah cair dari proses pembuatan batik berasal dari kegiatan pengolahan kain, pewarnaan, dan pelorotan (Sembiring, 2008). Pada proses pengolahan kain dan pewarnaan, limbah cair yang dihasilkan mengandung zat-zat kimia yang dapat memberikan kontribusi meningkatnya COD dan warna air limbah. Sedangkan pada kegiatan pelorotan, limbah cair yang dihasilkan memberikan kontribusi meningkatnya BOD air limbah (Sembiring, 2008).

Pembuangan air limbah berwarna seperti industri batik tidak hanya merusak estetika badan air penerima limbah. Limbah berwarna dapat meracuni biota air yang ada di perairan tersebut (Setyaningsih, 2007). Selain itu, warna yang pekat akan menghalangi tembusnya sinar matahari pada badan air, sehingga mempengaruhi proses fotosintesis di dalam air (Setyaningsih, 2007). Akibatnya oksigen yang dihasilkan pada proses fotosintesis sedikit serta berdampak pada terganggunya kehidupan biota air (Setyaningsih, 2007).



Gambar 7. Limbah Cair Industri Batik (Sumber: Anonim, 2015)

Air bekas cucian pembuatan batik yang menggunakan bahan-bahan kimia banyak mengandung zat pencemar/racun yang dapat mengakibatkan gangguan terhadap lingkungan, kehidupan manusia, binatang maupun tumbuh-tumbuhan.

Zat warna dapat mengakibatkan penyakit kulit. Hal yang sangat membahayakan adalah dapat mengakibatkan kanker kulit (Ninggar, 2014).

Limbah pewarna yang dibuang sembarangan dapat mencemari lingkungan. Ekosistem sungai akan rusak (Farodillah, 2007). Akibatnya, ikan-ikan mati dan air sungai tidak dapat dimanfaatkan lagi (Farodillah, 2007). Lebih dari itu, air sungai yang telah tercemar meresap ke sumur dan mencemari sumur. Padahal air itulah yang digunakan untuk keperluan hidup sehari-hari (Farodillah, 2007).

Dampak yang lain yaitu menurunnya produksi pertanian. Penurunan produksi pertanian disebabkan oleh penggunaan air sungai yang telah tercemar oleh limbah industri tekstil (Muzamil, 2010). Kualitas air sungai pada umumnya memenuhi syarat untuk irigasi kecuali sungai-sungai yang telah melewati daerah industri yang sering terpolusi oleh limbah industri yang dapat menghambat pertumbuhan tanaman. Pemberian air irigasi dengan kualitas yang baik dapat memperbaiki tanah, karena kandungan kalsium dalam air dan keuntungan dari proses pencucian kelebihan garam dalam tanah (Muzamil, 2010).

D. Logam Berat Seng (Zn)

Salah satu limbah yang dihasilkan oleh industri, yang berbahaya bila mencemari lingkungan air adalah logam berat. Logam berat yaitu logam yang mempunyai massa atom di atas 40 seperti besi (Fe), nikel (Ni), timbal (Pb), seng (Zn), tembaga (Cu), kadmium (Cd), air raksa (Hg), dan krom (Cr). Kelarutan logam-logam tersebut dalam air limbah cukup besar, lebih besar dibandingkan

dengan kelarutan logam tersebut secara normal. Penyebab logam berat menjadi bahan pencemar yang berbahaya karena logam berat tidak dapat dihancurkan (*non degradable*) oleh organisme hidup dan terakumulasi ke lingkungan. Logam-logam berat tersebut akan menimbulkan masalah lingkungan karena unsur-unsur itu tidak terurai selamanya (Muzamil, 2010).

Logam berat adalah unsur logam yang memiliki massa jenis lebih besar dari 5 g/cm³, antara lain Cd, Hg, Pb, Zn, dan Ni. Logam berat Cd, Hg, dan Pb dinamakan sebagai logam non esensial dan pada tingkat tertentu menjadi logam beracun bagi makhluk hidup (Rumajar, 2010). Logam berat merupakan unsur logam dengan berat molekul tinggi misalnya Seng berat molekulnya 65,4 g/Mol, Pb sebesar 207,2 g/Mol. Dalam kadar rendah logam berat sudah beracun bagi tumbuhan dan hewan, termasuk manusia (Rumajar, 2010). Menurut WHO (2011) perairan yang memiliki kadar logam berat seng lebih dari 2 mg/L dapat beracun bagi organisme perairan dan jika lebih dari 3 mg/L dapat beracun bagi manusia, sedangkan bagi tumbuhan kadar seng maksimal yaitu sebesar 50 mg/kg.

Logam berat dalam air umumnya berpengaruh buruk terhadap proses-proses biologis. Timbal (Pb), seng (Zn), dan tembaga (Cu) pada umumnya menyebabkan kematian ikan dan organisme perairan lainnya (Sumardjo, 2009). Akibat terjadinya interaksi logam berat dengan molekul-molekul penting sel sehingga merusak struktur dan fungsi sel pada organ target. Sel merupakan tingkatan struktur terendah yang mampu melakukan semua aktivitas kehidupan (Endrinaldi, 2010). Jika sel rusak maka aktivitas suatu organisme akan terganggu

atau bahkan mengalami kematian, kematian ikan dan organisme perairan lainnya dalam rantai ekosistem air akan menyebabkan terganggunya keseimbangan ekosistem air.

Logam berat jika sudah terserap ke dalam tubuh maka tidak dapat dihancurkan. Hal serupa juga terjadi apabila suatu lingkungan terutama di perairan telah terkontaminasi (tercemar) logam berat maka proses pembersihannya akan sulit sekali dilakukan. Hal ini dikarenakan logam berat merupakan unsur yang tidak dapat dihancurkan (Yudo, 2006), maka dari itu dilakukan pengolahan perairan yang telah tercemar logam berat untuk mengurangi kadar logam berat tersebut. Kontaminasi logam berat ini dapat berasal dari faktor alam seperti kegiatan gunung berapi dan kebakaran hutan ataupun faktor manusia seperti pertambangan, proses industri, peleburan, pembakaran minyak bumi, kegiatan pertanian, peternakan, dan kehutanan (Yudo, 2006).

Selain bersifat racun, logam berat terakumulasi dalam sedimen dan biota melalui proses biokonsentrasi, bioakumulasi, dan biomagnifikasi oleh biota laut (Yudo, 2006). Logam-logam berat yang masuk ke dalam tubuh hewan umumnya tidak dikeluarkan kembali dari tubuh mereka. Oleh karena itu, logam-logam cenderung menumpuk di dalam tubuh hewan. Akibatnya, logam-logam tersebut akan terus ada di sepanjang rantai makanan. Hal ini disebabkan karena predator pada satu trofik level yang lebih rendah sudah tercemar (Yudo, 2006).

Seng (Zn) adalah metal yang didapat pada industri keramik, kosmetik, dan karet (Hardjojo dan Djokosetiyanto, 2005). Zn dibutuhkan tubuh untuk proses

metabolisme, akan tetapi dalam kadar tinggi unsur ini dapat bersifat racun. Bagi mikroorganisme termasuk mikroalga. Zn berfungsi untuk menstabilkan struktur dari protein, reaksi redoks, dan hidrolisis serta menjadi pemicu suatu rangkaian proses (Amien, 2007).

Menurut Nriagu (2007), mekanisme seng dalam menyebabkan gangguan kesehatan bagi manusia masih belum dapat dipahami sepenuhnya. Seng mempengaruhi beberapa organ tubuh secara bersamaan. Ketika seng masuk ke dalam tubuh, maka akan bereaksi dengan air dan perut untuk melepaskan gas yang dapat memasuki aliran darah dan mempengaruhi paru-paru, hati, ginjal, jantung, dan sistem saraf pusat (Nriagu, 2007). Tanda gejala keracunan seng yaitu sakit perut, diare, muntah sesak dada, mual, pingsan, koma, kerusakan organ hati bahkan kematian (Nriagu, 2007).

Limbah industri yang mengandung logam Zn di buang ke perairan dalam jumlah banyak yaitu $> 2 \text{ mg/L}$, maka dapat menimbulkan pencemaran perairan (Amien, 2007). Pencemaran perairan adalah masuknya atau dimasukkannya makhluk hidup, zat, energi dan atau komponen lain ke dalam air oleh kegiatan manusia. Sehingga kualitas air turun sampai ke tingkat tertentu yang menyebabkan air tidak berfungsi lagi sesuai dengan peruntukannya (Pemerintah Republik Indonesia, 1997).

Senyawa Zn mempunyai kemampuan melarut yang relatif tinggi hal ini berhubungan dengan berat molekulnya yaitu sebesar $65,4 \text{ g/Mol}$, semakin rendah berat molekul suatu senyawa maka kelarutannya akan semakin tinggi (Oxtoby dkk., 2001). Apabila konsentrasi logam berat Zn dalam perairan berada

pada konsentrasi yang tinggi (>2 mg/L) sehingga tersebar luas diperairan, maka logam tersebut dapat terakumulasi ke dalam tubuh biota air (Amien, 2007).

Unsur-unsur logam berat dapat masuk ke dalam tubuh organisme perairan dengan tiga cara, yaitu melalui rantai makanan, insang, dan difusi melalui permukaan kulit (Musriadi, 2014). Sebagian besar logam berat masuk ke dalam tubuh organisme perairan melalui rantai makanan, hanya sedikit yang diambil langsung dari air (Musriadi, 2014). Akumulasi terjadi dikarenakan logam berat dalam tubuh organisme cenderung membentuk senyawa kompleks dengan zat-zat organik yang terdapat di dalam tubuh organisme. Dengan demikian logam berat terfiksasi dan tidak diekskresikan oleh organisme yang bersangkutan (Musriadi, 2014).

E. Lumpur Aktif

Dalam upaya mengatasi permasalahan yang ditimbulkan oleh limbah cair, maka proses pengolahan limbah wajib dilakukan sebelum limbah tersebut dibuang ke badan perairan. Salah satu sistem pengolahan limbah secara biologi yang mengurangi kadar cemaran limbah cair industri adalah dengan sistem lumpur aktif (*activated sludge*) (Sudaryati dkk., 2012).

Sistem lumpur aktif merupakan sistem yang menumbuhkan biomassa secara aerob dimana mikroorganisme tumbuh dalam jumlah dan jenis yang beragam yang bertujuan untuk menghilangkan bahan organik terlarut (Grady dkk., 1999). Bahan organik direduksi menjadi lebih sedikit dan air limbah bersih dengan kandungan bahan padatan tersuspensi yang mudah dihasilkan karena

adanya flokulasi alami oleh biomassa (Grady dkk., 1999). Flokulasi adalah proses pembentukan flok, flok akan mengendap ke lapisan bawah (Chandra, 2005). Flokulasi alami oleh agregasi mikrobial dikenal dengan flok yang merupakan komponen dari sistem (Andreadakis, 1993). Ukuran flok bervariasi antara $<1 \mu\text{m}$ sampai dengan $1000 \mu\text{m}$ (Luxmy dkk., 2000).

Menurut Jenkins (1993), di dalam proses lumpur aktif, bakteri merupakan partikel biokoloid-hidrofilik yang memiliki muatan permukaan elektronegatif. Koloid adalah sistem dispersi/sebaran, sistem dispersi adalah suatu sistem yang menunjukkan bahwa suatu zat terbagi halus dalam zat lain (Sumardjo, 2006). Hidrofilik adalah senyawa yang dapat melakukan ikatan dengan air (Sumardjo, 2006).

Bakteri dominan di dalam reaktor aerasi karena mampu mendegradasi senyawa organik dan mampu membentuk flok supaya biomasnya mudah dipisahkan dari effluen. Diharapkan mikroorganisme tersebut dapat bertahan dalam sistem pengolahan ini. Menurut Sari dkk (2013), reaksi oksidasi dan sintesis sel yang terjadi pada lumpur aktif adalah sebagai berikut:

Reaksi oksidasi:

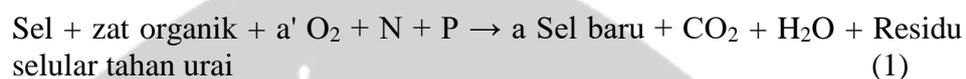


Sintesis/respirasi:



Wesley (1989) mengatakan jika zat organik dihilangkan dari larutan melalui pengolahan secara proses biologi menggunakan bakteri (sel) sebagai mikroorganisme, maka terjadi dua fenomena dasar yaitu oksigen dikonsumsi oleh bakteri untuk memperoleh energi, dan massa sel baru terbentuk. Kebutuhan oksigen tersebut dipenuhi melalui penggelembungan udara ke dalam larutan

(proses aerasi). Mikroorganismenya juga mengalami auto-oksidasi secara progresif dalam massa selulernya, reaksi tersebut digambarkan melalui persamaan sebagai berikut:



(Wesley, 1989)

Proses terbentuk flok dimulai dari proses nitrifikasi yang reaksinya adalah amonia dan oksigen menjadi ion nitrit dan akhirnya nitrat dan air, pada reaksi ini terdapat campur tangan bakteri oksidasi amonia dan bakteri oksidasi nitrit, artinya semua proses ini memerlukan oksigen yang cukup tinggi yaitu 4 ppm pada siang hari dan 6 ppm pada malam hari (Cozma dkk., 2012). Mikroorganismenya seperti bakteri dengan kemampuan lisis bahan organik memanfaatkan detritus sebagai makanan. Sel bakteri mensekresi lendir metabolit, biopolymer (polisakarida, peptida, dan lipid) atau senyawa kombinasi dan terakumulasi di sekitar dinding sel serta detritus. Saling tertarik antar dinding sel bakteri menyebabkan munculnya flok bakteri (Cozma dkk., 2012).

Flok yang baik tersusun oleh banyak bakteri dengan total bakteri yang tinggi ($10^7 - 10^9$ /ml) dan total vibrio kurang dari $10^3 - 10^4$ /ml (vibrio hijau lebih sedikit daripada vibrio kuning). Sedangkan flok yang kurang baik tersusun oleh total bakteri yang rendah ($10^4 - 10^5$ /ml) dan total vibrio lebih dari 10^3 /ml (vibrio hijau lebih banyak daripada vibrio kuning) (Zita dan Hermansson, 1997).

Bakteri vibrio hijau lebih patogen dari bakteri vibrio kuning, maka dari itu jumlahnya tidak boleh lebih banyak dibandingkan dengan vibrio kuning (Daniels dan Shafaie, 2000). Jika sisa lumpur aktif yang akan dibuang terdapat

banyak bakteri vibrio hijau tentu nya akan sangat membahayakan. Contoh bakteri vibrio kuning adalah *Vibrio cholerae* yang menyebabkan penyakit kolera. Kolera adalah penyakit yang disebabkan dikarenakan mengonsumsi makanan ataupun minuman yang telah terkontaminasi bakteri *Vibrio cholerae*. Biasanya orang yang sebelumnya sehat akan mengalami diare hebat dalam waktu 1-5 jam (Syah, 2014).

Contoh bakteri vibrio hijau adalah *Vibrio vulnificus* penyebab penyakit septicemia. Septicemia adalah salah satu penyakit serius, infeksi bakteri dapat mengancam jiwa dan bereaksi sangat cepat. Hal ini dapat timbul dari infeksi di seluruh tubuh, termasuk infeksi di paru-paru, perut, dan saluran kemih (Santoso, 2009).

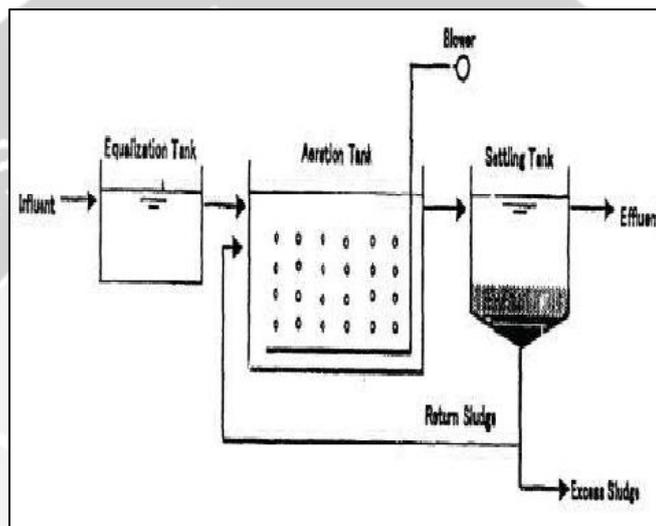
Kandungan bakteri (yang menguntungkan) sebaiknya mendominasi hingga 70% dari komponen bioflok yang terbentuk (Zita dan Hermansson, 1997). Dalam sistem biologi ini, mikroorganisme hidup dan tumbuh secara berkoloni, koloni berupa gumpalan-gumpalan kecil yang merupakan padatan yang mudah mengendap (Ratnani, 2008). Dalam keadaan tersuspensi koloni ini menyerupai lumpur sehingga disebut lumpur aktif. Tambahan kata aktif diberikan karena selain mereduksi substrat (buangan), juga memiliki permukaan yang dapat menyerupai substrat secara aktif. Menurut jenis mikrobial yang biasa terdapat di dalam lumpur umumnya berupa *Pseudomonas*, *Zooglea*, *Achromobacter*, *Flavobacterium*, *Nocardia*, *Bdellovibrio*, *Mycobacterium*, *Nitrosomonas*, dan *Nitrobacter* (Ratnani, 2008).

Prinsip dasar sistem lumpur aktif (Direktorat Jenderal Industri Kecil Menengah Departemen Perindustrian, 2007), terdiri atas dua unit proses utama yaitu bioreaktor (tangki aerasi) dan tangki sedimentasi. Dalam sistem lumpur aktif, limbah cair dan biomassa dicampur sempurna dalam reaktor dan diaerasi. Pada umumnya, aerasi juga berfungsi sebagai sarana pengadukan suspensi tersebut (Direktorat Jenderal Industri Kecil Menengah Departemen Perindustrian, 2007).

Sesudah *equalization tank*, fluktuasi kualitas/kuantitas influen diratakan. Limbah cair dimasukkan ke dalam tangki aerasi dimana terjadi pencampuran dengan mikroorganisme yang aktif (lumpur aktif) (Direktorat Jenderal Industri Kecil Menengah Departemen Perindustrian, 2007). Mikroorganisme tersebut yang akan melakukan penguraian dan menghilangkan kandungan organik dari limbah secara aerobik (Direktorat Jenderal Industri Kecil Menengah Departemen Perindustrian, 2007). Oksigen yang dibutuhkan untuk reaksi mikroorganisme diberikan dengan cara memasukkan udara ke dalam tangki aerasi dengan *blower* (Direktorat Jenderal Industri Kecil Menengah Departemen Perindustrian, 2007).

Setelah tangki aerasi, campuran limbah cair yang sudah diolah dan lumpur aktif dimasukkan ke tangki sedimentasi dimana lumpur aktif diendapkan, sedangkan supernatan dikeluarkan sebagai *effluen* dari proses tersebut (Direktorat Jenderal Industri Kecil Menengah Departemen Perindustrian, 2007). Sebagian besar lumpur aktif yang diendapkan di tangki sedimentasi dikembalikan ke tangki aerasi sebagai *return sludge* agar konsentrasi

mikroorganisme dalam tangki aerasi tetap sama dan sisanya dikeluarkan sebagai *excess sludge* (Direktorat Jenderal Industri Kecil Menengah Departemen Perindustrian, 2007). Skema proses dasar sistem lumpur aktif dapat dilihat pada Gambar 7.



Gambar 8. Skema Lumpur Aktif (Sumber: Direktorat Jenderal Industri Kecil Menengah Departemen Perindustrian, 2007)

Direktorat Jenderal Industri Kecil Menengah Departemen Perindustrian (2007) mengatakan bahwa dalam sistem tersebut mikroorganisme dalam biomassa (bakteri dan protozoa) mengkonversi bahan organik terlarut sebagian menjadi produk akhir (air, karbon dioksida), dan sebagian lagi menjadi sel (biomassa). Oleh karena itu, supaya proses perombakan bahan organik berlangsung secara optimum syarat berikut harus dipenuhi:

1. Polutan dalam limbah cair harus kontak dengan mikroorganisme
2. Suplai oksigen cukup
3. Cukup nutrisi
4. Cukup waktu tinggal (waktu kontak)
5. Cukup biomassa jumlah dan jenis

Seperti yang telah dijelaskan sebelumnya, bahwa di dalam lumpur aktif terdapat beraneka ragam bakteri. Bakteri tersebut disebut dengan bakteri indigenus. Bakteri indigen adalah bakteri yang berasal dari habitatnya sendiri sehingga kondisi lingkungannya sesuai dengan syarat hidupnya, hal ini bertujuan agar bakteri tersebut dapat tetap tumbuh dan berkembang biak atau memperbanyak diri dengan mudah karena tidak perlu menyesuaikan diri lagi dengan lingkungannya (Arief dkk., 2010).

F. Hipotesis

1. Lumpur aktif dengan penambahan bakteri indigenus mampu meremediasi limbah cair pewarna indigosol abu-abu pada industri batik.
2. Bakteri campuran indigenus merupakan bakteri yang paling mampu dalam meremediasi limbah cair pewarna indigosol abu-abu pada industri batik.