

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1. Industri Batik Banyumas

Industri batik memiliki peranan signifikan dalam perekonomian (Hidayat, 2012). Industri kerajinan batik mulai berkembang pesat sejak penetetapan oleh UNESCO yang mengakui batik merupakan warisan budaya Indonesia. Setiap daerah memiliki corak dan motif batik yang khas, seperti corak batik banyumas. Corak batik ini tidak terlepas dari pengaruh budaya leluhurnya, yaitu Surakarta, Yogyakarta dan Pekalongan.

Industri batik di wilayah Banyumas mengalami peningkatan setelah adanya pengakuan oleh UNESCO. Produksi batik banyumas pada tahun 2011 mengalami peningkatan sebesar 14,7% (Kurniasih, 2018). Seiring dengan berjalannya waktu dan persaingan yang ketat, batik banyumas kalah saing dengan batik dari daerah lain, seperti dari Pekalongan dan Solo dengan harga yang lebih murah. Upaya Pemerintah Daerah dalam menjaga kelestarian batik Banyumas melalui Peraturan Bupati Banyumas Nomor 6 Tahun 2019, bahwa bagi seluruh pegawai dan pelajar diwajibkan memakai pakaian batik Banyumas pada hari tertentu.

Pengembangan usaha batik di Kabupaten Banyumas membutuhkan sinergi dari berbagai pihak, baik pemerintah daerah, swasta maupun para perajin batik (Santoso, 2017). Regenerasi perajin masih menjadi salah satu persoalan pada kerajinan batik. Persoalan kelambatan regenerasi perajin batik

dipengaruhi beberapa faktor, diantaranya minat kaum muda terjun pada dunia membatik yang rendah, dan belajar membatik membutuhkan waktu yang cukup lama.

Perajin batik Banyumas memiliki organisasi yang maju, seperti di Sokaraja, untuk mengembangkan usahanya maka dibuatlah kampung batik. Kampung batik "Sawunggaling" di Sokaraja dibentuk sebagai organisasi para pengusaha batik khas Banyumas. Visi "*antebing tekad nggayuh karaharjan eling Banyumas*". Arti visi tersebut adalah tekad yang mantap dalam menggapai kesejahteraan, kenyamanan, keselamatan, serta berprinsip pada budaya Banyumas (Indonesia, 2015). Keberadaan kampung batik telah dirasakan oleh pengusaha batik banyumas (Hernama & Hermawati, 2011). Strategi pengembangan kampung batik, meliputi pengembangan jenis barang khas lokal seperti batik dan makanan. Barang tersebut sebagai cinderamata yang unik. Sistem perdagangan yang masih tradisional, dengan tawar-menawar secara langsung menjadi nilai tambah bagi wisatawan. Anggota kampung batik Sawunggaling di Sokaraja ditunjukkan pada tabel 2.1.

Tabel 2.1. Industri batik di Sokaraja

No	Nama gerai	Alamat
1	Batik HZ	Sokaraja Tengah RT 02 RW 04, Sokaraja, Banyumas
2	Batik R	Jl. Pesarean Kebutuh, Sokaraja Kulon RT 02 RW 04, Sokaraja, Banyumas
3	Batik I'ah (bu Nuriah)	Jl. Pramuka, Sokaraja Kulon RT 02 RW 06, Sokaraja, Banyumas
4	Batik Alindra	Sokaraja Tengah RT 04 RW 01, Sokaraja, Banyumas
5	Batik MT (Muktasidah)	Sokaraja Tengah RT 04 RW 01, Sokaraja, Banyumas
6	Batik Mahmud A	Jl. Dewa Kusuma, Sokaraja Tengah RT 04 RW 01, Sokaraja, Banyumas
7	Batik Anto Djamil	Jl. Dewa Kusuma Sokaraja Tengah RT 03 RW 01, Sokaraja, Banyumas
8	Batik Nur	Sokaraja Tengah RT 02 RW 04, Sokaraja, Banyumas
9	Batik Aris	Sokaraja Tengah RT 02 RW 04, Sokaraja, Banyumas
10	Batik Ofi	Sokaraja Tengah RT 02 RW 04, Sokaraja, Banyumas
11	Batik Sarwo Ono	Sokaraja Tengah RT 04 RW 01, Sokaraja, Banyumas
12	Batik Nasyis	Sokaraja Tengah RT 04 RW 01, Sokaraja, Banyumas
13	Batik Apik	Sokaraja Tengah RT 04 RW 01, Sokaraja, Banyumas
14	Batik ZM	Jl. Kauman, Sokaraja Tengah RT 04 RW 01, Sokaraja, Banyumas
15	Batik Ninin	Jl. Jend. Sudirman Sokaraja Tengah RT 02 RW 05, Sokaraja, Banyumas
16	Batik HN	Sokaraja Lor RT 04 RW 01, Sokaraja, Banyumas
17	Batik Lukman	Sokaraja Lor RT 04 RW 01, Sokaraja, Banyumas
18	Batik IR	Sokaraja Lor RT 04 RW 01, Sokaraja, Banyumas

Sumber : Kampung Batik Sokaraja, 2018.

Pengembangan usaha batik di Kabupaten Banyumas membutuhkan sinergi dari berbagai pihak, baik pemerintah daerah, swasta maupun para perajin batik. Sinergi para pengusaha batik dapat mendorong pertumbuhan UKM batik, perluasan pasar dan persaingan (Pinasti & Adawiyah, 2016). Jumlah perajin batik di Banyumas mencapai 1.000 orang, sedangkan industri

rumahan batik 40 unit dengan kapasitas produksi antara 15 ribu hingga 17 ribu lembar/bulan (Santoso, 2017). Perkembangan usaha batik di Banyumas dalam lima tahun terakhir cukup baik, namun perkembangan ini tidak diimbangi dengan jumlah tenaga pembatik. Regenerasi perajin masih menjadi salah satu persoalan pelik pada kerajinan batik. Persoalan kelambatan regenerasi perajin batik dipengaruhi beberapa faktor, diantaranya minat anak muda terjun di dunia membatik rendah, karena belajar membatik membutuhkan waktu lama. Regenerasi perajin batik sampai saat ini masih sedikit (Santoso, 2017).

Kolaborasi dengan antar kompetitor perajin batik mendorong pertumbuhan UKM. Pengusaha batik di wilayah Banyumas menyadari pentingnya strategi kerjasama yang diperlukan untuk memperluas pasar dan menghadapi pesaing yang lebih besar. Kolaborasi dianggap penting karena melalui hal tersebut, pengusaha batik mampu memberikan informasi satu sama lain, memfasilitasi akses terhadap bahan baku dan sumber daya lainnya juga untuk melestarikan batik (Pinasti & Adawiyah, 2016). Cara penataan ruang dan barang, serta pelayanan yang ramah membuat wisatawan menjadi terkesan dengan baik. Ketersediaan fasilitas umum yang nyaman serta informasi yang jelas menjadikan Sokaraja sebagai salah satu tujuan wisata (Santoso, 2017).

2.2. Produksi Batik

a. Proses Produksi Batik

Batik merupakan karya seni warisan budaya tidak ternilai harganya. Tema, cerita, dan isi hati dapat dituangkan pada goresan kain. Secara harfiah batik sebagai kain bergambar. Membatik secara khusus menorehkan malam (lilin) pada kain, kemudian diberi zat pewarna (Eskak, 2013). Proses pembuatan batik tidak banyak mengalami perubahan. Cara membatik dipertahankan secara konsisten menggunakan “canthing” tradisional agar menghasilkan karya yang unik. Motif dan corak batik mengalami perkembangan, namun proses pembuatan batik tetap sama (Eskak, 2013).

Berdasarkan proses pembuatannya, batik dapat dikelompokkan menjadi batik tulis, cap, printing, dan sablon (Kurniawan, 2013). Masing-masing proses tersebut memiliki beberapa perbedaan dalam penggunaan lilin (malam/wax). Proses pembuatan batik memiliki penamaan yang berbeda-beda, tetapi inti yang dikerjakan adalah sama (Anin, 2013), diantaranya sebagai berikut:

1) Nyungging

Nyungging adalah proses membuat pola atau motif. Proses ini diawali dengan menggambar pada kertas, yang akan dijadikan sebagai acuan pada proses nyorek atau memola..

2) Ngeplong

Ngeplong merupakan tahap mencuci kain mori berwarna putih, untuk menghilangkan kanji. Tahap selanjutnya adalah pengeloyoran, yaitu merendam kain dalam minyak jarak atau minyak kacang. Kain akan menjadi lemas, sehingga daya serap zat pewarna menjadi lebih baik.

3) Nyorek atau Memola

Nyorek atau memola adalah proses menjiplak gambar hasil proses nyungging, biasa disebut dengan ngeblat. Kegiatan ini dilakukan secara langsung di atas kain. Penjiplakan menggunakan pensil atau canthing. Guna mendapatkan hasil pewarnaan yang baik, tidak pecah, dan sempurna, maka proses pemberian malan secara bolak-balik.

4) Mbathik

Mbathik merupakan proses menorehkan malan ke kain menggunakan canthing. Proses ini dimulai dari gambar besar dan sederhana, sampai pada isen-isen (mengisi pola dengan berbagai macam bentuk). Isen-isen sering dikatakan sebagai nyecek atau nruntum, dan lebih rumit.

5) Nembok

Nembok merupakan proses menutupi kain dengan malan, untuk pemberian warna lain yang diinginkan. Bagian tersebut ditutup dengan malan yang tebal, seperti menembok..

6) Medel

Medel adalah proses pencelupan kain ke dalam zat pewarna. Proses ini dilakukan secara berulang untuk mendapatkan warna yang baik. Biasanya dilakukan 3 – 5 kali pencelupan.

7) Ngerok dan Mbirah

Ngerok merupakan proses pelepasan malam secara fisik dengan benda logam. Malam yang tebal dikerok secara hati-hati sampai bersih.

8) Mbironi

Mbironi merupakan proses menutup warna biru menggunakan malam. Proses ini bertujuan untuk memberi isen-isen dengan motif tertentu.

9) Menyoga

Menyoga merupakan proses pemberian warna coklat. Seperti pada proses mbironi, menyoga ini juga bertujuan untuk memberikan variasi gambar batik.

10) Nglorod

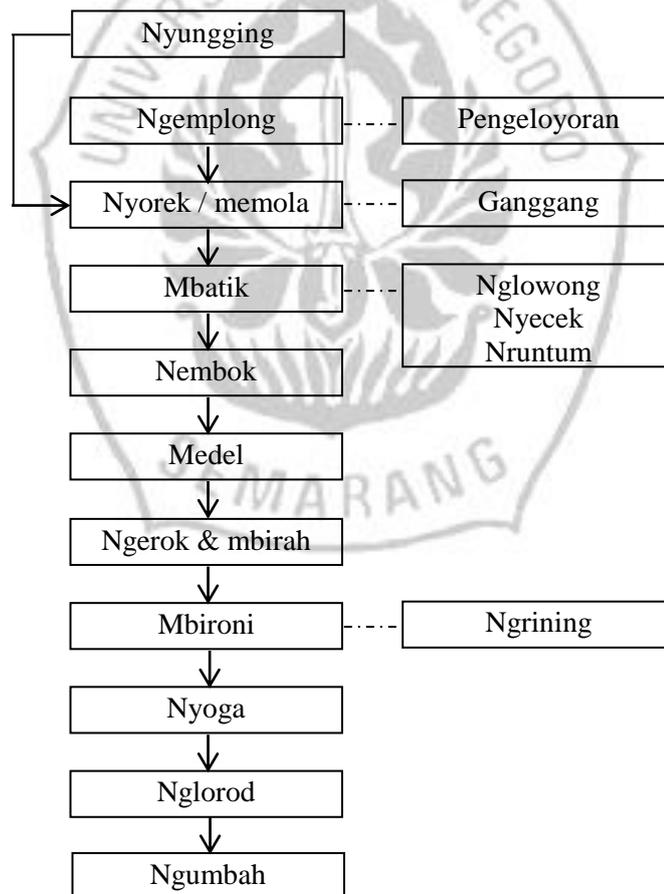
Nglorod adalah melepaskan lilir menggunakan air mendidih, setelah proses pewarnaan selesai. Dengan air panas, maka malam akan meleleh, dan muncul warna batik yang diinginkan.

11) Ngumbah

Ngumbah merupakan proses pencucian kain batik setelah diberikan larutan pengunci warna. Proses ngumbah ini sebaiknya

dilakukan dengan air yang mengalir untuk menghasilkan warna yang baik.

Kegiatan membuat kain batik membutuhkan waktu yang cukup lama, tergantung dari jumlah warna yang diinginkan dan motifnya. Seperti batik tulis memerlukan waktu bisa sampai satu bulan atau lebih. Proses pembuatan batik yang paling cepat adalah batik printing. Proses pembuatan satu helai kain batik melibatkan beberapa orang tenaga kerja sesuai dengan keterampilannya masing-masing.



Gambar 2.1. Proses pembuatan batik (Anin, 2013)

Zat pewarna batik yang paling banyak digunakan adalah bahan kimia. Pemilihan bahan tersebut didasarkan pada harga yang terjangkau dan memberikan hasil warna yang cerah. Bahan kimia pewarna mudah diperoleh di toko kimia, toko bahan batik, dan toko bahan sablon. Penggunaan bahan kimia dalam setiap tahapan proses pembuatan batik, akan menghasilkan cemaran sebagai berikut :

Tabel 2.2. Bahan kimia pada setiap tahapan proses pembuatan batik

No	Kegiatan	Bahan kimia	Pencemaran
1	Nyungging	-	-
2	Ngemplong	Minyak jarak, minyak kacang	Air
3	Nyorek / memola	-	-
4	Mbatik	Malam	Udara
5	Nembok	Malam	Udara
6	Medel	Naptol, garam diazonium, soda kostik, indigosol, asam sulfat, asam klorida, natrium nitrit	Air, udara
7	Ngerok / mbirah	-	-
8	Mbironi	Malam	Udara
9	Nyoga	Naptol, indigosol, soda kostik	Air, udara
10	Nglorod	Soda abu	Air, udara
11	Ngumbah	Air bersih atau air mengalir	Air

Sumber : (Anin, 2013)

Berdasarkan cara menorehkan malam pada proses pembuatan kain batik maka menghasilkan pola yang unik (Indonesia, 2014) sebagai berikut:

1) Batik Tulis

Batik tulis dibuat di atas bahan mori yang berwarna putih. Kain mori yang digunakan terbuat dari kapas. Namun saat ini batik tulis dapat dibuat di atas bahan seperti sutera, poliester, rayon, dan bahan

sintetis lainnya. Motif batik tulis digambar langsung di atas kain, dan dibentuk menggunakan malam yang ditorehkan dengan canthing. Motif batik tulis memiliki keunikan yang khas, yaitu selalu berbeda dengan motif lainnya. Pembuat atau perajin batik tulis memiliki kemampuan seni yang tinggi, karena dalam pembuatan motif biasanya tanpa adanya pola dasar. Sehingga motif batik tulis dibuat secara terbatas hanya untuk satu potong kain.

2) Batik Cap

Batik cap merupakan batik yang dalam proses pembuatannya menggunakan cap atau stempel. Kain mori sebagai dasar untuk dibuat batik, langsung di cap menggunakan zat pewarna. Cap biasanya terbuat dari logam tembaga atau kuningan. Batik cap dapat dibuat secara masal, atau dalam jumlah banyak.

3) Batik Printing (sablon)

Batik printing atau sablon dibuat menggunakan mesin yang canggih. Motif batik dibuat menggunakan komputer, yang selanjutnya dihubungkan dengan mesin printing. Batik printing biasanya dibuat untuk volume yang besar, seperti kain batik untuk seragam sekolah atau pegawai. Kain yang keluar dari mesin printing sudah menjadi kain batik yang diinginkan sesuai gambar rencana. Kelemahan batik printing yaitu warna biasanya cepat pudar, dan banyak kesamaan dengan yang dipakai oleh orang lain.

Batik tulis, batik cap, dan batik printing dalam proses produksinya menggunakan malam. Penggunaan malam sebagai perintang, secara umum terdapat 5 tahapan dalam proses produksinya (Soebagiyo & Wahyudi, 2008), yaitu :

- Proses pendahuluan berupa pemotongan kain, pengetelan dan pemolaan.
- Proses pematikan yaitu pelekatan lilin batik dengan cap atau canting.
- Proses pewarnaan berupa pewarnaan coletan atau celupan menggunakan zat pewarna alam atau kimia.
- Proses pelepasan malam dengan cara dikerok atau pelorodan.
- Penambahan bahan kimia agar lembut dan tidak mudah luntur.

Terdapat berbagai variasi proses pembuatan batik jenis cap, tulis dan kombinasi sesuai dengan produk batik yang diinginkan, dan sesuai dengan perkembangan teknologi pematikan, seperti lorodan, kerokan, remukan, coletan dan sebagainya.

Motif batik mengalami perkembangan. Proses produksi batik tulis dan batik cap, tetap menggunakan sistem tradisional, sedangkan batik printing mengalami perkembangan yang sangat pesat. Batik printing mengalami modernisasi, mengikuti perkembangan fashion (Rinawati et al., 2013).

b. Bahan Kimia dan Zat Pewarna Batik

1) Bahan Kimia

Pada proses produksi pembuatan batik, diperlukan bahan baku dan bahan penolong. Proses pembuatan batik secara umum memerlukan kain, energi, bahan kimia, dan peralatan yang sederhana (Rinawati *et al.*, 2013). Bahan kimia yang digunakan dalam proses produksi batik adalah :

a) Soda kostik (NaOH)

Soda kostik atau soda api memiliki ciri fisik berwarna putih dan berbentuk kristal. Soda kostik merupakan alkali kuat yang digunakan untuk campuran zat pewarna dan air, serta untuk memantapkan warna agar tidak mudah luntur.

b) Soda abu (Na_2CO_3)

Soda abu atau soda ash memiliki ciri fisik berwarna putih berbentuk bubuk, merupakan bahan tambahan yang digunakan dalam proses pelorodan pada air mendidih, dengan tujuan untuk memudahkan pelepasan lilin dari kain.

c) Soda kue (NaHCO_3)

Soda kue atau natrium bikarbonat digunakan untuk campuran zat pewarna, dengan tujuan untuk memudahkan proses penetrasi warna yang diserap oleh kain.

d) Nitrit

Nitrit merupakan senyawa kimia yang digunakan sebagai campuran zat pewarna, dengan tujuan untuk memaksimalkan warna yang diserap oleh kain.

e) Asam sulfat (H_2SO_4)

Senyawa asam kuat yang digunakan untuk mengoptimalkan larutan pewarna, supaya warna pada kain yang didapatkan menjadi optimal.

f) Sulfid

Sulfid digunakan untuk menghilangkan warna awal sebelum proses pewarnaan berikutnya dilakukan. Warna yang tidak diinginkan perlu dihilangkan, sehingga pewarnaan menjadi rapih.

g) Teepol

Teepol merupakan larutan pembasah sebelum kain dilakukan pewarnaan, sehingga warna yang diberikan bisa meresap dengan baik. Teepol juga dapat digunakan sebagai campuran larutan pewarna.

2) Zat Pewarna

Zat pewarna yang digunakan untuk mewarnai batik berupa bahan kimia maupun bahan alam. Zat pewarna kimia untuk batik memiliki komposisi yang sama dengan zat pewarna tekstil (Wang *et al.*, 2011). Pewarna batik dapat dikategorikan menjadi zat pewarna alam dan zat pewarna kimia. Zat pewarna batik terdiri dari 2 golongan yaitu:

a) Pewarna alami

Alam memiliki potensi sebagai pewarna batik. Zat pewarna yang diambil dari alam berupa tumbuhan dan batuan mineral. Pewarna yang berasal dari tumbuhan seperti pada akar, kulit, batang, daun, dan buah, dan bunga. Sedangkan pewarna yang berasal dari mineral seperti lempung untuk warna coklat, dan lainnya.

Penggunaan zat pewarna alami pada batik adalah menghindari pencemaran lingkungan, dan efek samping pemakaiannya seperti alergi pada kulit.

Tabel 2.3. Bahan pewarna alami

No	Bahan alami	Warna
1	Biji pinang	Coklat kemerahan, hitam
2	Akar mengkudu	Merah tua, merah kecoklatan
3	Kulit manggis	Merah keunguan, merah, biru
4	Daun jambu biji	Kuning-kecoklatan
5	Kulit kayu soga tegeran	Kuning
6	Kulit kayu soga tingi	Merah gelap – kecoklatan
7	Kulit kayu soga jambal	Coklat kemerahan
8	Daun indigo	Biru
9	Kunyit	Kuning
10	Kunyit + buah jarak + jeruk	Hijau tua
11	Kunyit + indigo	Hijau muda
12	Biji kesumba	Merah oranye
13	Daun teh	Coklat
14	Daun alpukat	Hijau kecoklatan
15	Daun jati	Merah kecoklatan
16	Kulit pohon, daun mangga	Hijau
17	Daun andong	Hijau – merah kecoklatan
18	Sabut kelapa	Krem kecoklatan
19	Putri malu	Kuning kehijauan
20	Kulit secang	Merah
21	Bawang merah	Jingga kecoklatan
22	Kayuangka	Kuning muda
23	Kulit jengkol	Coklat
24	Kulit pohon angsana	Merah

Sumber : (Anin, 2013)

Zat pewarna alami mudah diperoleh, harganya murah, dan terbaharukan (Parmono, 1995). Penggunaan zat pewarna alami yang semakin banyak, berakibat bahan tersebut bernilai ekonomi tinggi (Li *et al.*, 2009). Bahan baku pewarna alami yang berasal dari tumbuhan, tersedia melimpah, dan beberapa diantaranya tumbuhan perdu dan liar (Parmono, 1995). Zat pewarna alam memiliki kelebihan dan kekurangan..

Kelebihan penggunaan pewarna alami pada batik (Anwar *et al.*, 2016).

- Hasil warna yang muncul lebih natural dan kalem
- Limbah yang dihasilkan lebih ramah lingkungan (*eco friendly*)
- Ketersediaan yang melimpah dan terbarukan
- Proses ekstraksi cukup mudah, hanya menggunakan air mendidih.

Kekurangan zat pewarna alami untuk kain batik (Anwar *et al.*, 2016).

- Keterbatasan varian warna
- Kesulitan dalam standarisasi warna (warna yang tidak stabil)
- Proses ekstraksi tidak standar
- Kualitas warna sulit dikendalikan
- Warna mudah pudar
- Proses pewarnaan yang rumit untuk mendapatkan intensitas warna yang diinginkan

b) Pewarna sintetis

Zat pewarna kimia memiliki banyak kelebihan. Bahan yang mudah diperoleh, stabil, dan praktis. Zat pewarna yang sering digunakan dalam proses pembuatan batik adalah (Eskak, 2013):

1) Zat pewarna reaktif

Zat pewarna reaktif yang digunakan dalam pewarnaan batik adalah: remazol dan soda kostik. Zat pewarna ini mudah larut dalam air, mempunyai warna yang brilliant, ketahanan luntur yang baik, dan daya afinitas rendah

2) Zat pewarna indigosol

Zat pewarna indigosol merupakan jenis zat pewarna yang mudah larut dalam air, dan jernih. Warna tidak langsung muncul, setelah dicelupkan dalam asam klorida (HCl), asam sulfat (H_2SO_4), atau nitrit ($NaNO_2$), maka muncul warna yang dikehendaki.

3) Zat pewarna naphthol

Naphthol merupakan zat pewarna yang tidak larut dalam air. Pemakaian naphthol harus menggunakan zat penolong, biasanya kostik soda. Pewarnaan naphthol melalui 2 tahap. Pada pencelupan dengan naphthol belum menunjukkan warna, kemudian pada pencelupan dengan garam diazodium maka muncul warna yang dikehendaki.

4) Zat pewarna rapid

Pada pewarnaan ini setelah dilakukan pewarnaan naptol, kemudian warna tersebut dikuatkan melalui fiksasi menggunakan asam sulfat atau cuka.

2.3. Limbah Industri Batik

Limbah yang dihasilkan dari proses produksi batik berupa limbah padat, gas dan cair. Proses produksi batik menggunakan air dengan volume yang cukup besar. Sekitar 80% air yang dibutuhkan menjadi limbah. Karakteristik limbah batik dengan mudah dikenali secara fisik dari warna dan bau. Volume air limbah batik tergantung dari kapasitas produksinya (Nurdalia, 2006).

Air limbah adalah sisa dari suatu usaha dan/atau kegiatan yang berwujud cair (Indonesia, 2014). Air limbah batik berasal dari kegiatan pewarnaan, pelorodan, dan pencucian. Banyak industri batik yang membuang limbahnya tanpa pengolahan dengan benar (Eskani *et al.* 2005). Akibatnya lingkungan menjadi tercemar, dan kualitas lingkungan menjadi turun (Suprihatin, 2014).

Informasi kerusakan lingkungan akibat pencemaran limbah batik banyak dimuat di media masa (Kurniawan *et al.*, 2013). Industri ini membuang limbah yang diduga mengandung logam berat (Wardani *et al.*, 2014).

2.4. Karakteristik Limbah Industri Batik

Air limbah batik memiliki karakteristik yang serupa dengan limbah yang berasal dari industri tekstil (Kurniawan *et al.*, 2013), seperti BOD, COD, pH, warna, temperatur, dan TSS yang tinggi. Air limbah batik tergantung dari proses pewarnaan yang dilakukan (Suprihatin, 2014). Limbah batik mengandung logam berat seperti khromium (Sasongko & Tresna, 2010).

Mengacu pada Peraturan Menteri Lingkungan Hidup RI No. 5 Tahun 2014 tentang baku mutu air limbah, Lampiran XLII baku mutu air limbah bagi usaha dan/atau kegiatan industri tekstil, bahwa baku mutu air limbah batik menggunakan peraturan ini. Parameter yang menjadi dasar ditunjukkan pada tabel 2.4.

Tabel 2.4. Baku mutu air limbah industri batik

No	Parameter	Kadar paling tinggi (mg/l)	Beban pencemaran paling tinggi (kg/ton)
1	BOD5	60	6
2	COD	150	15
3	TSS	50	5
4	Fenol total	0,5	0,05
5	Krom total (Cr)	1,0	0,1
6	Amonia total (NH3-N)	8,0	0,8
7	Sulfida (sebagai S)	0,3	0,03
8	Minyak dan lemak	3,0	0,3
9	pH		6,0 – 9,0
10	Debit limbah paling tinggi		100 m ³ /ton produk tekstil

Sumber : (Indonesia, 2014)

Pada proses pewarnaan batik menggunakan bahan kimia, sehingga limbah yang dibuang diduga mengandung berbagai bahan pencemar seperti logam berat (Sasongko & Tresna, 2010). Sumber limbah batik berasal dari proses pewarnaan, pembatikan, penguncian warna, pelorodan dan pencucian.

Pada proses pewarnaan menggunakan bahan kimia yang kuat, dan sulit terdegradasi. Karakteristik air limbah ini dapat digolongkan menjadi 3 kelompok, yaitu:

a) Karakteristik Fisik

Secara fisik, air limbah batik yang mudah diamati adalah: temperatur, bau, warna, dan TSS. Temperatur dapat mempengaruhi kadar oksigen dalam air. Setiap kenaikan 10°C, dapat menyebabkan penurunan kadar oksigen 10%, dan mempercepat proses metabolisme 2 kali lipat. Bau yang muncul pada limbah batik menunjukkan terdapat material organik. Warna limbah batik disebabkan adanya materi *dissolved*, *suspended*, dan koloid. Padatan yang timbul membuat air menjadi keruh. Timbulnya gejala tersebut, menjadi indikator tingkat pencemaran (Wardani *et al.*, 2014).

b) Karakteristik kimia

Pemeriksaan karakteristik kimia dapat diketahui melalui kandungan COD, pH, dan DO. Semakin tinggi kandungan COD, maka dapat diindikasikan kandungan bahan kimia juga semakin tinggi (Baltreinaite *et al.*, 2015).

c) Karakteristik Biologis

Keberadaan lemak dalam air limbah batik mengindikasikan kandungan BOD juga tinggi. Pada proses penguraian senyawa organik memerlukan bantuan mikroorganisme (Yulianto *et al.*, 2009). Kandungan

bahan organik, warna, bau, dan temperatur yang tinggi, merupakan penilaian karakteristik biologi pada limbah batik (Kurniawan *et al.*, 2013).

2.5. Dampak Air Limbah Industri Batik

Peraturan Pemerintah Republik Indonesia Nomor 22 Tahun 2021 Tentang Penyelenggaraan Perlindungan Dan Pengelolaan Lingkungan Hidup, bahwa Pencemaran Lingkungan Hidup adalah masuk atau dimasukkannya makhluk hidup, zat, energi, dan/atau komponen lain ke dalam lingkungan hidup oleh kegiatan manusia sehingga melampaui baku mutu lingkungan hidup yang telah ditetapkan.

Air limbah batik tidak dikelola dengan baik, menyebabkan pencemaran lingkungan (Meiyanti *et al.*, 2014). Setiap tahapan proses produksi batik dapat menimbulkan pencemaran lingkungan. Kandungan bahan organik yang tinggi dan warna pekat, sangat mengganggu ekosistem perairan. Kandungan bahan tersebut dapat meracuni biota air. Warna yang pekat secara estetika mengganggu keindahan, dan mengganggu proses metabolisme fitoplankton yang ada di perairan tersebut (Riyani *et al.*, 2012). Akibat pencemaran dari limbah batik dapat mengganggu kehidupan manusia, seperti timbulnya berbagai macam gangguan pada kulit, seperti kanker kulit (Wardani *et al.*, 2014).

Bahan pewarna batik sebagian besar organik dengan variasi struktur senyawa kimia dan variasi berat molekul (Amalina *et al.*, 2022). Zat pewarna yang dibuang ke lingkungan dapat meresap ke dalam tanah. Sehingga

pencemaran terhadap tanah dan air tidak dapat terelakan (Wardani *et al.*, 2014).

2.6. Bioremediasi

Bioremediasi merupakan alternatif untuk pengolahan air limbah batik yang ramah lingkungan apabila dibandingkan dengan metode lainnya (Priyanka *et al.*, 2022). Bioremediasi merupakan teknik remediasi yang bertujuan untuk mendegradasi atau mendetoksifikasi baik itu polutan organik maupun anorganik dengan menggunakan agen biologi, seperti menggunakan tumbuhan, bakteri, maupun jamur (Saravanan *et al.*, 2023).

Pada proses bioremediasi, limbah atau polutan diubah atau didegradasi secara lengkap dengan produk akhir senyawa anorganik seperti karbon dioksida, air, dan metana (Kang, 2014). Keberhasilan proses biodegradasi banyak ditentukan oleh aktivitas enzim. Dengan demikian mikroorganisme yang berpotensi menghasilkan enzim pendegradasi hidrokarbon perlu dioptimalkan aktivitasnya, dengan pengaturan kondisi dan penambahan suplemen yang sesuai. Faktor lingkungan yang dapat mempengaruhi proses bioremediasi, meliputi kondisi limbah, temperatur, oksigen, dan nutrisi yang tersedia.

a. Lingkungan

Proses biodegradasi memerlukan kondisi lingkungan yang dapat mendukung kelancaran aliran nutrient, enzim-enzim mikrobial dan oksigen. Terhentinya aliran tersebut mengakibatkan terbentuknya kondisi anaerob sehingga proses biodegradasi aerobik menjadi tidak efektif

(Sennaj *et al.*, 2023). Bioremediasi lebih berhasil pada kondisi pH dari 4,5 sampai 7,4. Penyesuaian pH dapat mengubah kelarutan, bioavailabilitas, bentuk senyawa kimia polutan, makro dan mikro-nutrient (Zhou *et al.*, 2021).

b. Temperatur

Temperatur yang optimal untuk degradasi hidrokarbon adalah 30 - 40°C. Pada temperatur yang rendah, viskositas minyak menjadi meningkat, mengakibatkan volatilitas alkana rantai pendek yang bersifat toksik menurun, dan kelarutannya di air menjadi meningkat sehingga proses biodegradasi terhambat. Suhu sangat berpengaruh terhadap lokasi tempat dilaksanakannya bioremediasi (Rangabhashiyam & Balasubramanian, 2019).

c. Oksigen

Langkah awal katabolisme senyawa hidrokarbon oleh bakteri adalah oksidasi substrat dengan katalis enzim oksidase. Ketercukupan adanya oksigen merupakan syarat keberhasilan degradasi hidrokarbon. Ketersediaan oksigen di air tergantung pada kecepatan konsumsi oleh mikroorganisme air, kelas air dan kehadiran substrat lain yang juga bereaksi dengan oksigen. Terbatasnya oksigen, merupakan salah satu faktor pembatas dalam biodegradasi (Zhou *et al.*, 2021)

d. Nutrisi

Mikroorganisme memerlukan nutrisi sebagai sumber karbon, energi dan keseimbangan metabolisme sel. Pada pengolahan limbah batik dengan

bioremediasi ini tidak dilakukan penambahan nutrisi seperti sumber nitrogen dan fosfor, sehingga proses degradasi oleh mikroorganisme berlangsung cukup lambat.

Praktik bioremediasi terbagi atas : (a) bioremediasi yang melibatkan mikroba dan (b) bioremediasi yang berdasarkan lokasi (Wang *et al.*, 2021)

a. Bioremediasi yang melibatkan mikroba

Teknologi bioremediasi yang memanfaatkan mikroorganisme dalam menstimulasi pertumbuhan mikroba dilakukan dengan tiga cara yaitu :

1) Biostimulasi

Biostimulasi adalah suatu proses yang dilakukan melalui penambahan sumber energi tertentu yang dibutuhkan oleh mikroorganisme (misalnya nutrisi dan oksigen), atau menstimulasi kondisi lingkungan sedemikian rupa (misalnya pemberian aerasi) agar mikroorganisme tumbuh dan beraktivitas lebih baik. Nutrisi dan oksigen (dalam bentuk cair atau gas), ditambahkan ke dalam air yang tercemar untuk memperkuat pertumbuhan dan aktivitas bakteri. Namun sebaliknya, jika kondisi yang dibutuhkan tidak terpenuhi, mikroba akan tumbuh dengan lambat atau mati.

2) Bioaugmentasi

Bioaugmentasi merupakan penambahan atau introduksi satu jenis atau lebih mikroorganisme, baik yang alami maupun yang sudah mengalami perbaikan sifat (*improved genetically engineered strains*). Mikroorganisme yang telah terseleksi dapat membantu membersihkan

kontaminan tertentu, kemudian ditambahkan ke dalam air yang tercemar. Proses ini mempunyai kelemahan yaitu sangat sulit untuk mengontrol kondisi yang tercemar agar mikroorganisme dapat berkembang dengan optimal. Mikroorganisme yang dilepaskan ke lingkungan yang baru kemungkinan sulit untuk beradaptasi. Dalam beberapa aplikasinya, teknik bioaugmentasi diikuti dengan penambahan nutrisi tertentu.

3) Bioremediasi Intrinsik

Bioremediasi jenis ini terjadi secara alami (tanpa campur tangan manusia) dalam air yang tercemar.

b. Bioremediasi berdasarkan lokasi

Bioremediasi limbah batik berdasarkan lokasi dapat dilakukan secara in-situ dan ex-situ. Bioremediasi in-situ yaitu proses pengelolaan limbah dimana lokasi limbah itu berada dengan mengandalkan kemampuan mikroorganisme yang telah ada di lingkungan tercemar untuk mendegradasinya. Bioremediasi ex-situ yaitu bioremediasi yang dilakukan dengan mengambil limbah dari suatu tempat kemudian dilakukan pengolahan di tempat lain, selanjutnya dikembalikan ke tempat asal. Kemudian diberi perlakuan khusus dengan memakai mikroba. Bioremediasi ini bisa lebih cepat dan mudah dikontrol dibanding in-situ, dan mampu meremediasi jenis kontaminan dan jenis tanah yang lebih beragam.

Proses remediasi limbah dapat dikelompokkan menjadi tiga metode (Jacob *et al.*, 2018) yaitu :

a. Metode Fisik-Kimia

Remediasi secara fisik yaitu proses perbaikan kerusakan lingkungan secara fisik, melalui isolasi, stabilitas, dan imobilitas kontaminan. Sedangkan secara kimia, dengan memanfaatkan bahan kimia untuk menghilangkan kontaminan. Proses yang terjadi diantaranya adsorpsi, katalisis, pertukaran ion, dan reduksi-oksidasi.

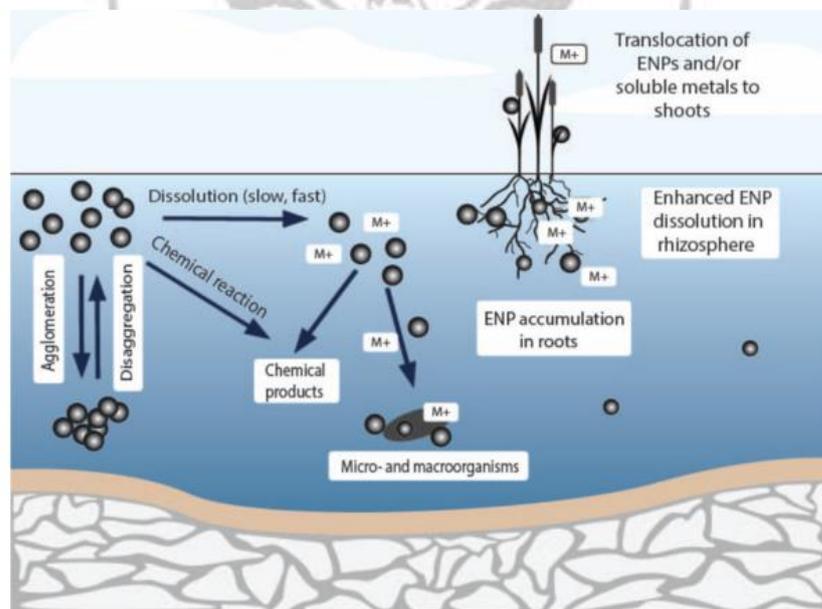
b. Metode Biologi

Remediasi secara biologi yaitu memanfaatkan kemampuan mikroorganisme dan tumbuhan untuk mengolah polutan (Setiyono & Gustaman, 2017). Tumbuhan fitoremediator yang dipilih berdasarkan fungsi ekologisnya (Palma-Cruz *et al.*, 2016). Dalam aplikasinya menggunakan tumbuhan dan mikroorganisme (Shen *et al.*, 2022). Metode yang banyak dikembangkan yaitu fitoremediasi dan bioaugmentasi.

Fitoremediasi, dengan pemanfaatan tumbuhan untuk menurunkan kandungan polutan dari lingkungan. Tumbuhan mampu mengadsorpsi dan mengakumulasi pada bagian akar (Patra *et al.*, 2020). Metode ini ramah lingkungan, murah, hemat dan dapat diterapkan (Canales-pastrana, 2013; Jacob *et al.*, 2018; Shen *et al.*, 2022) Melalui fitoremediasi dapat menurunkan konsentrasi bahan organik dan anorganik (Rezania *et al.*, 2015). Penambahan mikroorganisme dapat meningkatkan proses degradasi, dan mempercepat penurunan polutan (Gaur *et al.*, 2018)..

2.7. Mekanisme Bioremediasi

Pemanfaatan tumbuhan untuk menghilangkan, memindahkan, atau menghancurkan polutan dalam bentuk senyawa organik atau anorganik (Setiyono & Gustaman, 2017). Metode ini dipilih karena mudah, murah, dan praktis. Bioremediasi menggunakan tumbuhan disebut sebagai fitoremediasi, dapat dilakukan menggunakan berbagai macam tumbuhan (Bell et al., 2014). Fitoremediasi dalam beberapa bentuk; fitoekstraksi menghilangkan logam atau organik dari tanah dengan mengumpulkannya dalam biomassa tumbuhan; fitodegradasi atau fitotransformasi adalah penggunaan tumbuhan untuk menyerap, menyimpan dan menurunkan polutan organik (Peuke & Rennenberg, 2005). Mekanisme bioremediasi yang terjadi dalam air limbah ditunjukkan pada gambar 2.2.

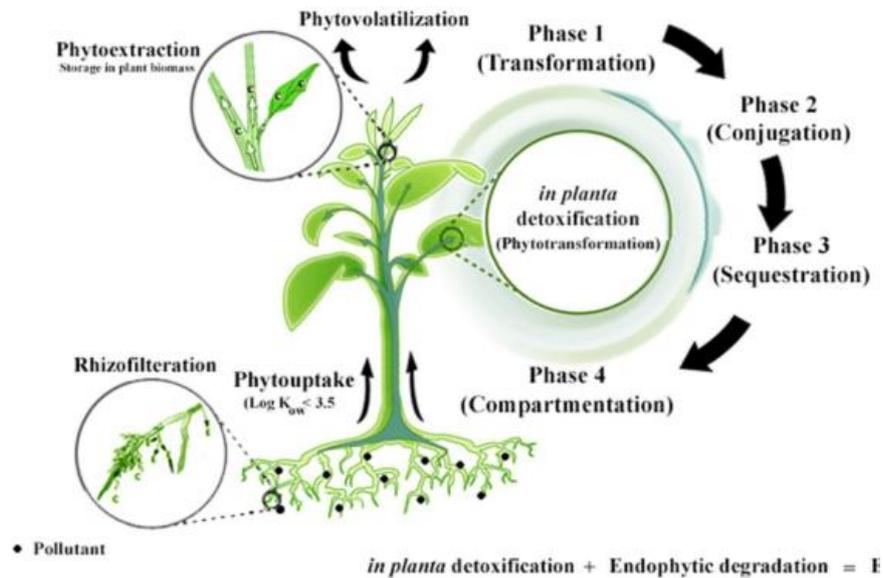


Gambar 2.2. Mekanisme bioremediasi menggunakan tumbuhan (Ebrahimbabaie *et al.*, 2020)

Teknik pembersihan dari kontaminan bahan kimia telah dikembangkan menjadi fitoremediasi. Teknik fitoremediasi merupakan salah satu yang paling layak dan hemat biaya (Canales-pastrana, 2013). Banyak spesies tumbuhan mampu mengakumulasi berbagai logam berat beracun ke dalam bagian vegetatif maupun reproduktifnya (Ebrahimbabaie *et al.*, 2020). Dibandingkan dengan teknik tradisional lainnya, fitoremediasi merupakan pilihan yang murah dan ramah lingkungan. Tumbuhan menyerap logam berat dari lingkungan melalui berbagai mekanisme seperti fitoekstraksi, fitofiltrasi, fitostabilisasi, fitovolatilisasi dan rhizodegradasi (Rezania *et al.*, 2015; Shen *et al.*, 2022), seperti ditunjukkan pada gambar 2.3.

a) Fitoekstraksi

Fitoekstraksi merupakan penyerapan kontaminan dari lingkungan oleh akar tumbuhan dan akumulasi kontaminan tersebut di bagian atas (pucuk). Fitoekstraksi (fitoakumulasi atau fitoabsorpsi) (Singh *et al.*, 2022) merupakan pendekatan yang mudah dan terbaik untuk menghilangkan logam berat terutama dari tanah yang terkontaminasi, tanpa mengubah kesuburan dan struktur tanah (Khan *et al.*, 2014). Tumbuhan fitoekstraktor memiliki banyak sifat untuk mentolerir dan mengekstraksi logam berat dari lingkungan yang terkontaminasi. Ciri-ciri tersebut adalah (i) pertumbuhan cepat dengan biomassa tinggi, (ii) sistem akar memanjang, (iii) budidaya mudah, (iv) adaptasi terhadap kondisi lingkungan yang berbeda dan (v) tolakan terhadap herbivora (Singh *et al.*, 2022).



Gambar 2.3. Mekanisme degradasi pencemar pada tumbuhan (Ijaz *et al.*, 2016)

b) Fitofiltrasi

Fitofiltrasi disebut juga sebagai rhizofiltrasi karena polutan diserap oleh akar tumbuhan dari aliran air. Fitofiltrasi merupakan salah satu pendekatan penghilangan logam berat. Pada fitoremediasi dengan bantuan tumbuhan air baik tanaman terapung bebas, terendam maupun muncul (Olguin & Sanchez-Galvan, 2012). Pada fitofiltrasi, logam berat diserap oleh tumbuhan, dan dengan demikian mobilitas kontaminan ke air bawah tanah diminimalkan. Guna mengekstrak logam berat dalam jumlah maksimum, tumbuhan fitofiltrasi harus tumbuh secara hidroponik dan memiliki sistem perakaran yang padat. Selain itu, efisiensi fitofiltrasi tumbuhan sangat bergantung pada karakteristik biokimianya (Thakur *et al.*, 2016).

c) Fitostabilisasi

Fitostabilisasi adalah proses untuk mengurangi mobilitas logam berat di lingkungan dengan penyerapan dan akumulasi dalam jaringan akar, pengendapan di dalam zona akar atau pengurangan valensi logam di rizosfer, menjadikannya tidak berbahaya, sehingga mencegah masuknya ke rantai makanan, serta air tanah (Khan *et al.*, 2014). Tumbuhan fitostabilisator memiliki kemampuan untuk mengubah keadaan logam berbahaya menjadi keadaan yang relatif kurang beracun dengan mengeluarkan enzim redoks khusus. Tumbuhan fitostabilisator memiliki sistem akar luas yang memberikan kolonisasi tanah yang baik dan mudah kontak dengan logam berat (Pérez-Sanz *et al.*, 2012).

d) Fitovolatilisasi

Fitovolatilisasi adalah jenis fitoekstraksi, dimana logam berat tidak terakumulasi secara permanen dalam biomassa, melainkan diubah menjadi bentuk volatil yang kurang beracun, dan dilepaskan ke atmosfer (Canales-Pastrana & Paredes, 2013). Proses fitovolatilisasi memiliki keunggulan dibandingkan teknik fitoremediasi lainnya, karena menghilangkan logam (metaloid) dari lingkungan yang terkontaminasi tanpa perlu memanen dan membuang tumbuhan yang terakumulasi logam berat.

e) Rizodegradasi

Rizodegradasi mengacu pada reduksi atau konversi ion logam berat di rizosfer oleh mikroorganisme rizosfer. Akar tanaman menyediakan sumber karbon dan nitrogen, untuk mikroorganisme rizosfer dan

menciptakan lingkungan yang kaya nutrisi, yang menyebabkan aktivitas mikroba meningkat. Mikroorganisme rizosfer memiliki kemampuan untuk menghasilkan berbagai agen penghelat seperti siderofor, biosurfaktan, asam glukonat, asam oksalat, dan asam sitrat, yang berperan penting dalam mobilisasi dan transformasi logam berat (Ilhardt *et al.*, 2019).

2.8. Potensi Bioremediasi Air Limbah Batik

Pengolahan limbah batik secara bioremediasi menggunakan konsorsium tumbuhan atau fitoremediasi menjadi alternatif, karena murah dan praktis. Tumbuhan air banyak yang memiliki kemampuan untuk menyerap, dan mengakumulasi bahan pencemar (Indrasti *et al.*, 2006),

Penggunaan tumbuhan sebagai agen fitoremediasi limbah batik dikarenakan pada beberapa tumbuhan diketahui memiliki kemampuan dalam mengurangi dampak kerusakan lingkungan. Pengurangan dampak kerusakan lingkungan akibat limbah cair batik oleh tumbuhan, dilakukan dengan menyerap bahan pencemar penyebab kerusakan (Palma-Cruz *et al.*, 2016). Kontaminan bahan kimia mengganggu keseimbangan ekosistem secara fisik, kimia, dan biologi (Hidayati, 2005). Akibatnya keseimbangan menjadi terganggu. Perbaikan kualitas lingkungan dengan tujuan untuk meminimalkan resiko-resiko yang akan muncul secara alami (Hidayati, 2005).

Penurunan polutan dapat dilakukan oleh tumbuhan fitoremediasi seperti pohon, rumput-rumputan, dan tumbuhan air. Penyerapan polutan oleh akar bisa berarti penghancuran, inaktivasi, dan imobilisasi menjadi bentuk

yang stabil (Kang, 2014). Kelebihan ini dapat dimanfaatkan sebagai pengolahan air limbah dengan tingkat efisiensi yang tinggi (Puspita *et al.*, 2011). Tumbuhan fitoremediator yang digunakan pada penelitian ini yaitu eceng gondok, apu-apu dan ganggang. Pemilihan ketiga jenis tumbuhan ini dengan alasan tumbuhan tersebut tumbuh subur pada daerah penelitian dan jumlahnya melimpah. Tumbuhan fitoremediator pada penelitian ini yaitu :

a. *Eichhornia crassipes* (Mart.)

E. crassipes (Mart.) memiliki nama lain yaitu eceng gondok, enceng gondok, kelipuk, ringgak, ilung-ilung, tumpe. Klasifikasi *E. crassipes* sebagai berikut.

Kingdom : *Plantae*

Divisi : *Spermatophyta*

Sub divisi : *Angiospermae*

Kelas : *Monocotyledoneae*

Famili : *Pontederiaceae*

Genus : *Eichhornia*

Spesies : *Eichhornia crassipes* (Mart.)



Gambar 2.4. *Eichhornia crassipes* (Mart.)

E. crassipes memiliki tinggi 40 - 80 cm, tidak mempunyai batang, dan akar bisa masuk dalam tanah. Tumbuhan ini memiliki bunga majemuk berbentuk bulir yang berwarna ungu, dan mempunyai bentuk daun yang oval, berwarna hijau mengkilat, ditopang oleh tangkai berbentuk silinder, panjang 40 – 80 cm, diameter 1 - 2 cm. Tangkai daunnya berserat yang kuat dan berongga (Indrasti *et al.*, 2006).

E. crassipes mengapung di atas air, dan tingkat evaporasinya cukup tinggi. *E. crassipes* berkembangbiak melalui dua cara yaitu dengan biji dan tunas. Tunas muncul melalui celah daun yang tumbuh menjadi tumbuhan baru, sedangkan biji dapat menjadi tumbuhan baru setelah mengeluarkan tunas. Suhu yang baik untuk pertumbuhan sekitar 28°C, pH 4 - 12. *E. crassipes* sulit tumbuh dan berkembangbiak pada air jernih (Arofah & Erusani, 2014).

E. crassipes dapat digunakan sebagai fitoremidior pada air limbah, menyerap dan mengakumulasi logam berat, sebagai hiperakumulator (Saba *et al.*, 2015). Sifat tumbuhan hiperakumulator, sebagai agen pemulihan lingkungan tercemar tinggi, bahkan mampu mengakumulasi beberapa logam, tumbuh cepat, tahan hama dan penyakit. Polutan ditranslokasi pada akar, batang dan daun sehingga mengakibatkan tumbuh tidak normal (Yulianto *et al.*, 2009).

Faktor lingkungan fisik mempengaruhi kelangsungan hidup dan laju akumulasi polutan, yaitu pH dan suhu. Kenaikan pH mengganggu proses fotosintesis dan denitrifikasi. Pertumbuhan *E. crassipes* yang cepat

terutama disebabkan oleh kandungan nutrisi (nitrogen, fosfat dan potasium) yang tinggi. Keberadaan garam dapat menghambat pertumbuhan dan perkembangan (Odjegba & Fasidi, 2007).

Tumbuhan yang berusia muda memiliki kemampuan menyerap polutan yang lebih besar daripada tumbuhan yang telah tua. Proses regenerasi yang cepat dan toleransi yang tinggi, merupakan indikasi bahwa tumbuhan ini dapat difungsikan sebagai pengendali pencemaran lingkungan (Indrasti *et al.*, 2006). Tumbuhan fitoremediasi dilarang untuk dikonsumsi oleh manusia. Sebaiknya tumbuhan dimusnahkan dengan cara dibakar dalam insinerator (Arofah & Erusani, 2014).

Kemampuan tumbuhan dalam menyerap polutan dipengaruhi oleh jenis logam dan senyawanya. Pada *E. crassipes*, polutan disimpan dalam akar, dan vakuola tangkai daun (González *et al.*, 2015). *E. crassipes* mampu membentuk senyawa yang kompleks dengan bantuan fitocchelat, asam glutamat, dan glisin. Hasil senyawa ini yang membuat eceng gondok memiliki kemampuan dalam menurunkan berbagai polutan (Borker *et al.*, 2013).

b. *Pistia stratiotes* (L.f.)

P. stratiotes memiliki nama lain yang berbeda pada setiap daerah yaitu apu-apu, selada air, kubis air, kiambang, kayambang, kayu apu dan lainnya. Klasifikasi *P. stratiotes* yaitu :

Kingdom : *Plantae*

Subkingdom : *Tracheobionta*

Superdivisi : *Spermatophyta*
Divisi : *Magnoliophyta*
Kelas : *Liliopsida*
Subkelas : *Arecidae*
Ordo : *Arales*
Famili : *Araceae*
Genus : *Pistia*
Spesies : *Pistia stratiotes* (L.f.)



Gambar 2.5. *Pistia stratiotes* (L.f.)

P. stratiotes dalam kategori *monocotyledon*, memiliki daun yang tebal, lembut, ukuran sekitar 14 cm, dan tidak memiliki batang. Perakaran serabut yang panjang, halus dan lebat (Hernayanti & Proklamasiningsih, 2004). Sistem perakaran tersebut dapat dapat berfungsi sebagai filter, adsorpsi, dan absorpsi ion-ion polutan (Li *et al.*, 2015). Hidup pada kondisi perairan yang tenang, atau mengalir lambat. (Anwar *et al.*, 2016), dan terdapat gelembung udara sehingga tubuhnya mengapung. Perkembangbiakan berlangsung cepat secara vegetatif dengan melepaskan stolon, dan secara generatif melalui bunga yang tersembunyi pada ketiak

daun (Farnese *et al.*, 2014). Reproduksi ini tidak dipengaruhi oleh musim dan kondisi lingkungan (Rijal, 2014). *P. stratiotes* sering dianggap sebagai gulma oleh petani, namun memiliki manfaat yang besar (Hernayanti & Proklamasiningsih, 2004), dan menyerap berbagai logam berat seperti Cr, Pb, Cd, Sn, Hg, Cu, Mn, Zn dan lainnya (Li *et al.*, 2015), dan zat organik (Palma-Cruz *et al.*, 2016).

c. *Hydrilla verticillata* L.

H. verticillata sering dimanfaatkan sebagai tumbuhan hias pada aquarium, dan sebagai tumbuhan fitoremediator, dengan klasifikasi :

Kingdom : *Plantae*
Super Divisi : *Spermatophyta*
Divisi : *Magnoliophyta*
Kelas : *Liliopsida*
Ordo : *Hydrocharitales*
Famili : *Hydrocharitaceae*
Genus : *Hydrilla*
Spesies : *Hydrilla verticillata* (L.f.)



Gambar 2.6. *Hydrilla verticillata* (L.f.)

H. verticillata merupakan jenis tumbuhan yang tenggelam (submersed aquatic plant), memiliki batang dan daun berwarna hijau, dan akar serabut (Jain & Kalamdhad, 2018). Batang berbentuk tegak, ramping, bercabang, dan panjang hingga mencapai permukaan air. Daun berbentuk lanset, kecil, tipis, dan bergerigi. Ukuran daun: lebar 2 - 4 mm, panjang 6 - 20 mm. Setiap ruas terdapat 3 – 4 daun yang tumbuh melingkar.

Keberadaan *H. verticillata* di perairan sangat bermanfaat, yaitu dapat menambah oksigen terlarut, dan meningkatkan temperatur perairan (Bianchini *et al.*, 2010). *H. verticillata* memiliki karakteristik yang luar biasa, mudah tumbuh pada ekosistem perairan dari iklim tropis hingga iklim sedang (Jain & Kalamdhad, 2018). Pada batang sebagai tempat menyimpan cadangan nutrisi yang diperlukan apabila terjadi gangguan (Bianchini *et al.*, 2010). Sistem reproduksi secara vegetatif dan generatif, yaitu fragmentasi, umbi, turion dan biji (Chathuranga *et al.*, 2014). Perkembangbiakan yang mudah dan cepat, sehingga *H. verticillata* sering dianggap sebagai gulma oleh petani (Bianchini *et al.*, 2010). *H. verticillata* bisa hidup di air yang tercemar oleh limbah, dapat tumbuh di sedimen organik, dapat bertahan di substrat berpasir atau berbatu (Bianchini *et al.*, 2010). Penyerapan polutan oleh akar, masuk ke dalam melalui xylem dan floem, dan polutan tersebut menjadi stabil (Bianchini *et al.*, 2010).

d. Bakteri Indigenus

Bakteri indigenus, merupakan bakteri pengurai yang secara alami hidup pada kondisi lingkungan yang telah tercemar. Keberadaan bakteri

indigenous secara eksplisit menunjukkan kekayaan biodiversitas, yang berpotensi untuk dimanfaatkan lebih jauh untuk mengolah limbah (Gowri *et al.*, 2020). Bakteri indigenous ini terdiri dari berbagai spesies membentuk rantai makanan dan terjadi simbiosis mutualisme. Sehingga bakteri ini memiliki potensi sebagai penyelamatan lingkungan yang telah rusak (Oljira *et al.*, 2018).

Puspita *et al.* (2011) berpendapat *P. stratiotes* mampu menurunkan krom sampai 150 gram dengan waktu pemaparan 9 hari. Kombinasi *H. verticillata* dan *E. crassipes* dapat menyerap Cr^{6+} , pada pemaparan 96 jam berhasil menyerap 88,282 %. Terdapat banyak tumbuhan dengan kemampuan penyerapan yang baik terhadap bahan-bahan pencemar (Sarangi *et al.*, 2010).

2.9. Pengelolaan Air Limbah Batik

Pengelolaan merupakan manajemen dalam memperlakukan limbah batik agar tidak mencemari lingkungan. Pada pengelolaan terdapat unsur pengolahan. Pengolahan bertujuan untuk menurunkan atau menghilangkan senyawa-senyawa organik dan anorganik pada air limbah. Pengolahan ini dapat dilakukan dengan beberapa cara yaitu pengolahan secara fisik, kimia dan biologi.

Pengolahan air limbah dilakukan secara mekanis atau fisik seperti penyaringan, penghancuran, dan pengendapan. Tahap ini dilakukan untuk pengurangan partikel yang berukuran besar seperti pasir, lumpur, padatan lainnya. Secara kimia, dilakukan penambahan bahan kimia untuk mengurangi

konsentrasi bahan pencemar. Kegiatan ini meliputi netralisasi, koagulasi, klorinasi, dan reduksi-oksidasi. Pengolahan air limbah secara biologi, yaitu memanfaatkan bakteri untuk menangani limbah yang bersifat organik atau zat pencemar lain yang mudah diurai, dan diserap oleh tumbuhan. Berdasarkan karakteristiknya, maka air limbah batik dapat diolah secara biologi menggunakan bakteri dan tumbuhan.

Karakteristik limbah batik ditentukan oleh proses pembuatan batik. Seringkali volume air limbah yang dihasilkan tidak tergantung dari jumlah produksi. Sebagai contoh air limbah sisa pencelupan untuk setiap potong kain batik, menghasilkan volume yang sama apabila digunakan untuk 10 potong kain batik. Hal ini bisa terjadi karena dalam proses pencelupan mengikuti system *aanzet* (permulaan) dan *nazet* (tambahan) atau “*jog-jogan*” (Jawa). Pewarnaan dengan cara jog-jogan biasa dilakukan dengan volume dan kadar zat pewarna yang sama. Pewarnaan beberapa potong kain batik (yang dikerjakan potong per potong) hasilnya seragam, karena variabel pencelupannya selalu dibuat tetap. Sisa zat pewarna yang dilakukan dengan cara pencelupan, maka menjadi limbah.

Setiap tahapan proses pembuatan batik selalu menggunakan air, dan 80% dari air tersebut akan menjadi limbah. Karakteristik air limbah dapat digolongkan dari karakteristik fisik dan kimia. Parameter yang digunakan untuk menunjukkan karakteristik fisik adalah zat padat, suhu, warna dan bau. Sedangkan karakteristik kimia adalah BOD₅, COD, fenol total, krom total (Cr), amonia total (NH₃-N), sulfida (sebagai S), minyak dan lemak, serta pH.

Total suspended solid (TSS) disebabkan oleh adanya partikel-partikel koloid. Padatan tersebut dapat mengendap sendiri tanpa penambahan bahan kimia. Endapan yang terjadi berupa malam (lilin) yang bisa digunakan kembali. Pada proses produksi batik, beberapa zat warna kimia berbentuk padatan yang mudah larut misalnya soda kostik, garam diazonium, kapur, tawas, tunjung, indigosol, dan remazol. Zat pencampur warna padatan koloid dan tersuspensi misalnya tapioka atau kanji.

Suhu air limbah merupakan parameter yang harus diperhatikan pada saat akan membuang air limbahnya. Suhu yang tinggi terjadi pada proses pelorodan untuk melepaskan lilin menggunakan air mendidih dan soda kostik.

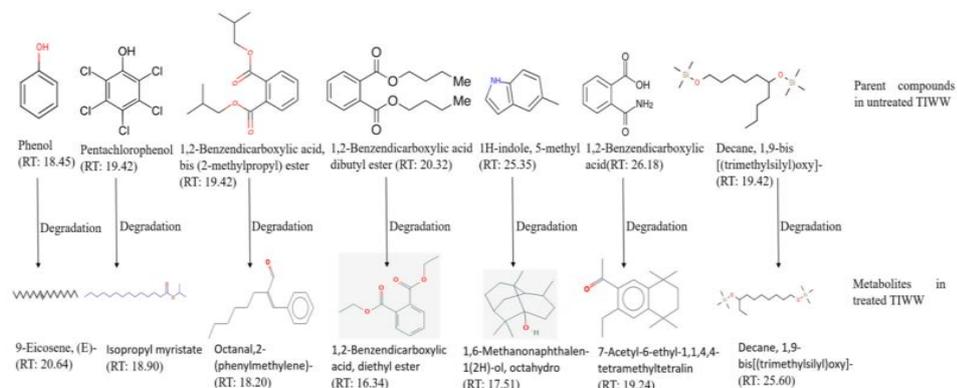
Warna air limbah batik diakibatkan oleh sisa-sisa zat pewarna yang tersisa pada wadah pencelupan, dan proses pencucian. Selain mengganggu keindahan, beberapa zat pewarna ada yang bersifat racun. Warna pada air limbah batik pada umumnya sulit untuk dihilangkan. Air limbah batik yang tergenang banyak menyerap oksigen terlarut, sehingga akan membuat air berwarna hitam dan berbau. Beberapa bahan yang akan menimbulkan bau seperti hidrosulfit, cuka, asam sulfat, dan kanji. Akibatnya menyebabkan kadar BOD, COD, Cr⁶⁺, fenol, serta minyak dan lemak yang tinggi.

Kandungan malam pada limbah batik dirubah menjadi emulsi gula oleh bakteri indigenus sehingga menjadi larut dan mudah terdegradasi (Citrapancayudha & Soetarto, 2016). Bakteri berperan dalam proses fitoremediasi mengubah senyawa organik menjadi anorganik, sehingga

mudah diserap oleh tumbuhan (Wang *et al.*, 2022). Interaksi antara bakteri dengan tumbuhan membentuk suatu sistem simbiosis mampu menurunkan bahan organik dan logam berat (Feng *et al.*, 2022).

2.10. Bioremediasi pada Air Limbah Batik

Air limbah batik menjadi pencemar air yang potensial. Kandungan senyawa organik dan kimia yang tinggi cukup berbahaya, dan dapat menyebabkan iritasi kulit (Minarsih, 2009). Proses pencucian kain batik atau tekstil mengkonsumsi sejumlah besar air dan menghasilkan volume air limbah yang besar. Air limbah dari pencelupan seringkali kaya warna, mengandung residu bahan kimia reaktif, krom, COD, dan BOD yang tinggi. Efek toksik dari zat pewarna, senyawa organik, dan asam-basa dari proses produksi batik sangat berbahaya. Saat ini bahan pewarna yang tersedia di pasaran terutama senyawa aromatik dan heterosiklik, dengan kelompok tampilan warna dan gugus polar. Strukturnya lebih rumit dan stabil, sehingga semakin sulit untuk didegradasi (Wang *et al.*, 2011). Struktur kimia jalur degradasi limbah batik ditunjukkan pada gambar 2.7.



Gambar 2.7. Kemungkinan jalur degradasi air limbah batik (Kishor *et al.*, 2021)

Air limbah batik yang dibuang di lingkungan menimbulkan pencemaran, maka perlu adanya solusi yang tepat. Pengolahan limbah yang murah, sederhana, dan praktis banyak yang dicari. Bioremediasi menggunakan konsorsium tumbuhan air dan bakteri indigenous dapat menjadi salah satu solusi tersebut. Telah banyak penelitian yang mengungkapkan keberhasilan bioremediasi menggunakan tumbuhan air. Hernayati & Proklamasiningsih (2004) menggunakan *P. stratiotes* menunjukkan bahwa penurunan Cu terbesar 91,5%, BOD 64,26%, TSS 93,4%, kekeruhan 50,87%, pH mengalami kenaikan 36,1%, dan DO 300%. Borker *et al.* (2013) menggunakan *E. crassipes* mampu menyerap Cd sebesar 25, 50 dan 75 ppm. Saba *et al.* (2015) berhasil menurunkan zat pewarna azo menggunakan *E. crassipes*. Zat pencemar terakumulasi pada tumbuhan tergantung dari jenis tumbuhan dan jenis zat pencemarnya (Hidayati, 2005). Sebagian besar jenis tumbuhan mengalami penurunan produksi biomassa pada titik tertentu, sedikitnya 10 - 20 kali dari tingkat maksimum yang dapat ditolerir tumbuhan normal (Brown *et al.*, 1995). Beberapa zat yang dapat ditolerir seperti Ni sebesar 1 - 5%, Zn dan Mn sebesar 1% (Chaney *et al.*, 1997), Cd sebesar 100 mg (Baker *et al.*, 1994), dan logam berat sebesar 0,1 - 0,13% (Pranata, 2013).

Beberapa tumbuhan mampu menyerap logam dengan jumlah yang berbeda. Logam diserap oleh akar, dan terbawa oleh sistem metabolismenya, dan berhenti pada beberapa bagian tumbuhan seperti pada akar, batang, daun, dan tajuk (Chaney *et al.*, 2010). Pada kondisi normal, konsentrasi

bahan pencemar pada akar 10 kali daripada tajuk, tetapi sebaliknya pada logam (Brown *et al.*, 1995). Efektivitas tersebut tergantung dari faktor genetik dan fisiologi tumbuhan (Hidayati, 2005).

2.11. Interaksi pada Proses Bioremediasi

Interaksi antara tumbuhan fitoremediator dan bakteri pendegradasi terjadi secara alami membentuk konsorsium. interaksi yang terjadi adalah saling menguntungkan (Muñoz & Carneiro, 2022). Simbiosis mutualisme telah terjadi secara alami dalam ekosistem yang indigen. Keberadaan bakteri pada bagian akar membentuk suatu ekosistem. Bakteri indigenous berinteraksi dengan tumbuhan, menunjukkan ekosistem yang baik. Keberadaan bakteri indigenous memicu produktivitas, menekan patogen penyebab penyakit, membantu menghilangkan kontaminan, melarutkan posfat, dan fiksasi nitrogen. Pada ekosistem perakaran, bakteri mendegradasi material organik dalam kondisi terlarut. Akar tumbuhan mengeluarkan lendir, dan dimanfaatkan oleh bakteri. Namun beberapa jenis bakteri yang mampu masuk ke dalam akar sebagai endofit, dan tidak menyebabkan penyakit (Andy *et al.*, 2020).

Bakteri indigenous banyak dimanfaatkan untuk penurunan zat pewarna. Masing-masing spesies bakteri indigenous memiliki kemampuan yang berbeda (Gowri *et al.*, 2020), sehingga sulit untuk menentukan spesies bakteri yang tepat dalam pengolahannya. Salah satu karakteristik yang dijumpai yaitu mampu mendekolorisasi tekstil. Bakteri mensekresikan

enzim-enzim seperti azoredecataase, laccase atau peroxidase. Enzim tersebut dapat mendegrasi struktur kimia zat pewarna (Sarangi *et al.*, 2010).

2.12. Persepsi Masyarakat Sekitar Industri Batik

Persepsi merupakan gambaran pada pikiran tentang sesuatu yang menjadi objek perhatian seseorang, yang dapat memberikan nilai terhadap objek tertentu (Wangke, 2010). Persepsi seseorang terhadap lingkungan terkait dengan pemberian makna terhadap lingkungan tersebut. Persepsi masyarakat terhadap lingkungan dapat berupa persepsi positif dan negatif. Jika seseorang mempunyai nilai positif terhadap lingkungannya, maka memotivasi perilaku masyarakat yang positif juga terhadap lingkungannya, dan sebaliknya (Akpan *et al.*, 2020). Persepsi seseorang dipengaruhi faktor eksternal yaitu faktor personal, faktor sosial, dan faktor informasi (Akpan *et al.*, 2020).

Aspek pengetahuan menjadi kunci dalam memahami sebuah lingkungan. Rasa ketidaktahuan atau ketidakmengertian terjadi karena kurangnya informasi atau komunikasi, sehingga menjadi penyebab kerusakan lingkungan (Rintayati, 2011). Partisipasi dan kesadaran masyarakat berkaitan dengan informasi, teknologi, dan keterampilan (Samuel, 1999).

Tingkat pendidikan yang cukup baik membentuk persepsi masyarakat yang positif dan memberikan pengaruh masyarakat terhadap pengelolaan lingkungan (Diartho *et al.*, 2012). Pendidikan dan pekerjaan menjadi faktor

yang mempengaruhi persepsi masyarakat terhadap dampak lingkungan (Purwanto *et al.*, 2013). Persepsi dipengaruhi oleh rangsangan fisik, dan interaksi individu terhadap lingkungannya (Yunita & Edwar, 2016).

Informasi muncul dari interaksi langsung terhadap lingkungannya. Permasalahan pencemaran lingkungan akan merubah persepsi masyarakat yang tinggal di daerah tersebut. Berkat adanya kemajuan teknologi dan meningkatnya tingkat pendidikan masyarakat, maka persepsi pengelolaan limbah batik menjadi semakin baik. Pada akhirnya masyarakat mampu mengelola limbah batik secara mandiri.

2.13. Model Bioremediasi untuk Pengolahan Limbah Batik

Alternatif pengolahan limbah batik menggunakan sistem bioremediasi pada beberapa penelitian terdapat beberapa model. Penggunaan tumbuhan secara tunggal yaitu menggunakan satu jenis tumbuhan dengan system batch merupakan cara yang paling banyak digunakan. Model bioremediasi yang paling banyak digunakan yaitu menggunakan tumbuhan tunggal seperti pada *P. stratiotes* untuk menurunkan logam Pb (Ratna & Slamet, 2020), ammonia (Apritama *et al.*, 2020), Cr (Joko *et al.*, 2015) pada air limbah batik. Pada penggunaan *E. crassipes* untuk pengolahan air limbah batik mampu menurunkan konsentrasi BOD, COD dan TSS (Safauldeen *et al.*, 2019; Suharto *et al.*, 2013), ammonia (Ting *et al.*, 2018) serta logam Cd (Das *et al.*, 2016). Penggunaan bakteri pada proses bioremediasi seperti *Citrobakter* untuk pengolahan limbah tekstil (Fu *et al.*, 2013), penurunan Cd (Wang *et al.*, 2021), berbagai macam logam berat (Sharma, 2021),

Bioremediasi pada model kombinasi seperti penggunaan tumbuhan dan bakteri secara bersama-sama sehingga membentuk suatu ekosistem, seperti untuk meremediasi limbah yang mengandung Mn (Bell *et al.*, 2014; Huang *et al.*, 2020), chlorpyrifos (Anudechakul *et al.*, 2015), logam berat Cd dan Cr (Luminit *et al.*, 2017), COD (Yin *et al.*, 2022), BOD (Muñoz & Carneiro, 2022). Interaksi tersebut berlangsung pada akar tumbuhan (Dhaoue *et al.*, 2018; Han *et al.*, 2021; Saha *et al.*, 2020; Wang *et al.*, 2021). Bioremediasi model kombinasi tersebut biasanya dilakukan terhadap satu jenis tumbuhan dengan bakteri. Pada beberapa penelitian belum banyak yang melakukan gabungan beberapa tumbuhan fitoremediator dalam pengolahan limbah batik.

