

TUGAS AKHIR - RE 184804

STUDI PUSTAKA: PENGOLAHAN AIR LIMBAH INDUSTRI BATIK

PRISCILIA MAHARANI

03211840000071

Dosen Pembimbing

Ir. Eddy Setiadi Soedjono, Dipl.SE, M.Sc, Ph.D

NIP 19600308 198903 1 001

DEPARTEMEN TEKNIK LINGKUNGAN

Fakultas Teknik Sipil, Perencanaan, dan Kebumihan

Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Surabaya

2022



TUGAS AKHIR - RE 184804

STUDI PUSTAKA: PENGOLAHAN AIR LIMBAH INDUSTRI BATIK

PRISCILIA MAHARANI

03211840000071

Dosen Pembimbing

Ir. Eddy Setiadi Soedjono, Dipl.SE, M.Sc, Ph.D

NIP 19600308 198903 1 001

DEPARTEMEN TEKNIK LINGKUNGAN

Fakultas Teknik Sipil, Perencanaan, dan Kebumihan

Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Surabaya

2022

“Halaman ini sengaja dikosongkan”



FINAL PROJECT - RE 184804

***A REVIEW OF BATIK INDUSTRY WASTEWATER
TREATMENT***

PRISCILIA MAHARANI

0321184000071

Advisor

Ir. Eddy Setiadi Soedjono, Dipl.SE, M.Sc, Ph.D

NIP 19600308 198903 1 001

DEPARTMENT OF ENVIRONMENTAL ENGINEERING

Faculty of Civil, Planning, and Geo Engineering

Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Surabaya

2022

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

LEMBAR PENGESAHAN

STUDI PUSTAKA: PENGOLAHAN AIR LIMBAH INDUSTRI BATIK

TUGAS AKHIR

Diajukan untuk memenuhi salah satu syarat
memperoleh gelar Sarjana pada
Program Studi S-1 Departemen Teknik Lingkungan
Fakultas Teknik Sipil, Perencanaan, dan Kebumihan
Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Oleh : **PRISCILIA MAHARANI**

NRP. 0321184000071

Disetujui oleh Tim Penguji Tugas Akhir:

1. Ir. Eddy Setiadi Soedjono, Dipl.SE., M.Sc., Ph.D.

Pembimbing

2. Ir. Bowo Djoko Marsono, M.Eng.

Penguji

3. Alfian Purnomo, S.T., M.T.

Penguji

4. I D A A Warmadewanthi, S.T., M.T., Ph.D.

Penguji



PERNYATAAN ORISINALITAS

Yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama mahasiswa / NRP : Priscilia Maharani / 0321184000071
Departemen : Teknik Lingkungan
Dosen Pembimbing / NIP : Ir. Eddy Setiadi Soedjono, Dipl.SE, M.Sc, Ph.D /
19600308 198903 1 001

Dengan ini menyatakan bahwa Tugas Akhir dengan judul "Studi Pustaka: Pengolahan Air Limbah Industri Batik" adalah hasil karya sendiri, bersifat orisinal, dan ditulis dengan mengikuti kaidah penulisan ilmiah.

Bilamana di kemudian hari ditemukan ketidaksesuaian dengan pernyataan ini, maka saya bersedia menerima sanksi sesuai dengan ketentuan yang berlaku di Institut Teknologi Sepuluh Nopember.

Surabaya, 22 Juli 2022

Mengetahui

Dosen Pembimbing



(Ir. Eddy Setiadi Soedjono, Dipl.SE, M.Sc, Ph.D)

NIP. 19600308 198903 1 001

Mahasiswa,



(Priscilia Maharani)

NRP. 0321184000071

STUDI PUSTAKA: PENGOLAHAN AIR LIMBAH INDUSTRI BATIK

Nama Mahasiswa : Priscilia Maharani

NRP : 0321184000071

Departemen : Teknik Lingkungan

Dosen Pembimbing : Ir. Eddy Setiadi Soedjono, Dipl.SE, M.Sc, PhD

Abstrak

Industri batik telah banyak tersebar di berbagai wilayah Indonesia dan terus berkembang pesat terutama sejak batik diresmikan sebagai Warisan Budaya Takbenda oleh UNESCO. Seiring dengan hal tersebut, limbah yang dihasilkan sebagai produk samping semakin banyak khususnya limbah cair yaitu sekitar hampir 85% dari penggunaan air selama proses produksi. Air limbah batik termasuk limbah berbahaya dan beracun (B3) yang terdiri dari kontaminan organik dan anorganik. Pelaku usaha batik banyak yang membuang air limbahnya ke lingkungan tanpa pengolahan sehingga menyebabkan pencemaran. Adapun industri batik yang sudah mengolah air limbahnya, namun masih terdapat parameter yang melebihi baku mutu. Oleh karena itu, diperlukan studi secara mendalam mengenai pengolahan air limbah batik yang ideal agar industri batik dapat membuang limbahnya ke lingkungan dengan aman.

Pustaka yang digunakan adalah buku, jurnal, prosiding seminar, situs resmi, laporan penelitian, skripsi, thesis, dan disertasi. Pencarian pustaka ini menggunakan Neliti Repositori Ilmiah Indonesia, *Google Scholar*, *Science Direct*, *Research Gate*, *Sci-Hub* dan sebagainya. Dalam melakukan studi diperlukan analisis proses produksi dan sumber limbah, kualitas air limbah berbagai industri batik, serta perbandingan metode pengolahan berdasarkan kelebihan dan kekurangan untuk menerapkannya pada studi kasus.

Hasil studi menunjukkan bahwa air limbah batik pewarna alami juga menggunakan bahan kimia sebagai bahan pembantu proses, sehingga kualitas air limbah yang dihasilkan berpotensi mengandung polutan toksik maupun karsinogen sama seperti air limbah batik pewarna sintetis. Terdapat berbagai konfigurasi pengolahan air limbah batik diantaranya adsorpsi, koagulasi-flokulasi, elektrokoagulasi, *advanced oxidation processes*, proses film mikrobiologis (*biofilm*), lumpur aktif, dan *constructed wetlands*. Industri batik terbagi menjadi skala mikro, kecil, menengah, dan besar. Studi kasus yang digunakan pada studi ini yaitu skala menengah dengan debit 18 m³/hari dan industri skala kecil 3,55 m³/hari. Skenario pengolahan air limbah yang direkomendasikan untuk studi kasus skala menengah adalah *grease trap*, bak ekualisasi, koagulasi-flokulasi, sedimentasi, dan adsorpsi. Sedangkan untuk skala kecil adalah *grease trap*, bak ekualisasi, *biofilter* dan adsorpsi.

Kata kunci: Air Limbah Batik, Industri Batik, Pengolahan Air Limbah

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

A REVIEW OF BATIK INDUSTRY WASTEWATER TREATMENT

Student Name / NRP: Priscilia Maharani / 03211840000071

Department : Environmental Engineering FTSPK - ITS

Advisor : Ir. Eddy Setiadi Soedjono, Dipl.SE, M.Sc, PhD

Abstract

The batik industry has been widely spread in various parts of Indonesia and continues to grow rapidly, especially since batik was inaugurated as an Intangible Cultural Heritage by UNESCO. Along with this, the waste generated as a by-product is increasing, especially liquid waste, which accounts for almost 85% of water use during the production process. Wastewater includes hazardous waste (B3) which consists of organic and inorganic contaminants. Many batik business actors dispose of waste water into the environment without treatment causing pollution. The batik industry has treated its wastewater, but there are still parameters that exceed the quality standard. Therefore, an in-depth study of the ideal batik wastewater treatment is needed so that the batik industry can safely dispose of waste into the environment.

The libraries used are books, journals, seminar proceedings, official websites, research reports, theses, theses, and dissertations. This library search uses the Indonesian Scientific Repository Research, Google Scholar, Science Direct, Research Gate, Sci-Hub and so on. In conducting the study, it is necessary to analyze the production process and sources of waste, the quality of wastewater from various batik industries, as well as a comparison of processing methods based on advantages and disadvantages to apply them to case studies.

The results of the study show that natural dyed batik wastewater also uses chemicals as process aids, so that the quality of the wastewater produced has the potential to contain toxic pollutants and carcinogens the same as synthetic dyed batik wastewater. There are various configurations of batik wastewater treatment including adsorption, coagulation-flocculation, electrocoagulation, advanced oxidation processes, microbiological film process (biofilm), activated sludge, and constructed wetlands. The batik industry is divided into micro, small, medium and large scale. The case studies used in this study are medium scale with a discharge of 18 m³/day and small scale industry 3.55 m³/day. The recommended wastewater treatment scenarios for medium-scale case studies are grease trap, equalization bath, coagulation-flocculation, sedimentation, and adsorption. As for the small scale are grease traps, equalization tanks, biofilters and adsorption.

Keywords: *Batik Wastewater, Batik Industry, Wastewater Treatment*

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

KATA PENGANTAR

Puji syukur kepada Allah SWT atas Rahmat, Hidayah, dan Karunia-Nya, sehingga penulis dapat menyelesaikan Tugas Akhir yang berjudul “Studi Pustaka: Pengolahan Air Limbah Industri Batik” dengan tepat waktu. Penulisan Laporan Tugas Akhir dapat terlaksana dengan baik atas bantuan dan bimbingan dari pihak-pihak yang terkait dalam pelaksanaannya. Oleh karena itu, perkenankan penulis mengucapkan terima kasih kepada:

1. Bapak Ir. Eddy Setiadi Soedjono Dipl.SE, M.Sc, PhD selaku Dosen Pembimbing atas bimbingan, saran, serta dukungan yang diberikan kepada penulis.
2. Bapak Ir. Bowo Djoko Marsono, M.Eng, Bapak Alfian Purnomo ST., MT, dan Ibu IDAA Warmadewanthi,ST.,MT.,PhD selaku Dosen Pengarah yang memberikan arahan, saran, dan kritik yang membangun dalam penyusunan tugas akhir ini.
3. Bapak Ali Masduqi, ST.,MT selaku Dosen Wali yang telah banyak membimbing dan mengarahkan selama di bangku perkuliahan.
4. Orang tua, adik, serta keluarga besar atas segala bentuk doa, kepercayaan, dukungan, dan bantuannya yang telah diberikan selama ini.
5. Teman-teman Angkatan 2018, terutama Yusita, Dani, dan Sulthan yang telah berjuang bersama, dan saling memberikan dukungan.
6. Semua pihak yang membantu dalam penyelesaian tugas akhir ini.

Penulisan laporan ini telah diusahakan semaksimal mungkin namun sebagaimana manusia biasa tentunya masih terdapat kesalahan, untuk itu kritik dan saran yang membangun sangat penulis harapkan.

Surabaya, 22 Juli 2022

Penulis

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

DAFTAR ISI

ABSTRAK	i
ABSTRACT	iii
DAFTAR ISI	vii
DAFTAR GAMBAR	ix
DAFTAR TABEL	x
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Rumusan Masalah	2
1.3 Tujuan.....	2
1.4 Ruang Lingkup	2
1.5 Manfaat.....	3
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	5
2.1 Proses Produksi dan Limbah Industri Batik	5
2.2. Karakteristik Air Limbah Industri Batik	8
2.3 Baku Mutu Air Limbah Industri Batik	9
2.4 Metode Pengolahan Air Limbah Batik.....	13
2.4.1 Pengolahan Fisik.....	13
2.4.1.1 Adsorpsi.....	13
2.4.2 Pengolahan Kimia.....	14
2.4.2.1 Koagulasi-flokulasi.....	14
2.4.2.2 Elektrokoagulasi	14
2.4.3.3 <i>Advanced Oxidation Processes</i> (AOPs)	14
2.4.3 Pengolahan Biologis	14
2.4.3.1 Proses Film Mikrobiologis (<i>Biofilm</i>)	14
2.4.3.2 Sistem Lumpur Aktif (<i>Activated Sludge</i>)	15
BAB III METODE PENULISAN	17
3.1 Umum.....	17
3.2 Kerangka Penulisan.....	17
3.3 Tahapan Penulisan.....	18
3.3.1 Penetapan Ide dan Rumusan Masalah	18
3.3.2 Penetapan Pokok Bahasan Studi Pustaka dengan Studi Kasus	19
3.3.3 Studi Pustaka dan Pengumpulan Data Sekunder	19
3.3.4 Analisis Data Hasil Studi Pustaka dan Penerapan Studi Kasus.....	19
3.3.5 Kesimpulan dan Saran	21
BAB IV PEMBAHASAN	22
4.1 Profil Industri Batik di Indonesia	23
4.2 Kualitas Air Limbah Industri Batik.....	24
4.3 Mekanisme Penyisihan Polutan pada Metode Pengolahan Air Limbah Batik.....	26
4.3.1 Adsorpsi.....	26
4.3.2 Koagulasi-flokulasi.....	28
4.3.3 Elektrokoagulasi	30
4.3.4 <i>Advanced Oxidation Processes</i> (AOPs).....	33
4.3.5 Proses Film Mikrobiologis (<i>Biofilm</i>).....	35
4.3.6 Lumpur Aktif (<i>Activated Sludge</i>)	36
4.3.8 <i>Constructed Wetlands</i> (CWs)	38

4.4 Studi Kasus	41
4.4.1 Skala Menengah.....	41
4.4.2.1 Rekomendasi Metode Pengolahan pada Studi Kasus Skala Menengah.....	42
4.4.2 Skala Kecil	57
4.4.2.1 Rekomendasi Metode Pengolahan pada Studi Kasus Skala Kecil.....	57
BAB V KESIMPULAN	70
5.1 Kesimpulan	71
5.2 Saran	71
DAFTAR PUSTAKA.....	73
BIODATA PENULIS.....	81

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Alur Proses Produksi Batik dan Sumber Limbahnya	7
Gambar 3.1 Kerangka Penulisan	18
Gambar 4.1 Reaksi Xanthasi	27
Gambar 4.2 Mekanisme di dalam Elektrokoagulasi.....	31
Gambar 4.3 Mekanisme Proses Metabolisme Di Dalam Proses Dengan Sistem Biofilm.....	35
Gambar 4.4 Skenario Pengolahan Air Limbah Skala Menengah.....	55
Gambar 4.5 Skenario Pengolahan Air Limbah Skala Kecil	67

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Baku Mutu Air Limbah Industri Batik	12
Tabel 4.1 Data Persebaran Industri Batik di Indonesia.....	23
Tabel 4.2 Tipikal Air Limbah Industri Batik	24
Tabel 4.3 Rekapitulasi Efisiensi Removal Masing-Masing Metode Pengolahan Air Limbah Batik	40
Tabel 4.4 Hasil Uji Laboratorium Kualitas Air Limbah Rumah Industri Batik Dewi Rengganis	42
Tabel 4.5 Kualitas Efluen Air Limbah Industri Batik Skala Menengah pada Setiap Metode Pengolahan	43
Tabel 4.6 Kriteria Desain Unit Ekualisasi	44
Tabel 4.7 Kriteria Desain Unit Adsorpsi	44
Tabel 4.8 Kriteria Desain Unit Koagulasi.....	45
Tabel 4.9 Kriteria Desain Unit Flokulasi	46
Tabel 4.10 Kriteria Desain Biofilter Anaerob.....	48
Tabel 4.11 Kriteria Desain Biofilter Aerob	49
Tabel 4.12 Kriteria Desain Unit Lumpur Aktif	50
Tabel 4.13 Kriteria Desain Unit <i>Constructed Wetlands</i>	51
Tabel 4.14 Perbandingan Alternatif Pengolahan Skala Menengah	52
Tabel 4.15 Kriteria Desain Unit Sedimentasi	55
Tabel 4.16 Kebutuhan Luas Lahan Skenario Pengolahan Skala Menengah	56
Tabel 4.17 Kualitas Efluen Air Limbah IKM Batik Dewi Rengganis.....	56
Tabel 4.18 Hasil Uji Laboratorium Kualitas Air Limbah Industri Batik Besurek Kelurahan Lempuing	57
Tabel 4.19 Kualitas Efluen Air Limbah Industri Batik Skala Kecil pada Setiap Metode Pengolahan	58
Tabel 4.20 Perbandingan Alternatif Pengolahan Skala Kecil.....	65
Tabel 4.21 Kebutuhan Luas Lahan Skenario Pengolahan Kecil.....	68
Tabel 4.22 Kualitas Efluen Air Limbah Industri Batik Besurek Kelurahan Lempuing	68

BAB I PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Kegiatan industri merupakan salah satu kegiatan sektor ekonomi yang dilakukan oleh manusia dengan tujuan untuk meningkatkan kesejahteraan masyarakat, dimana didalamnya terdapat kegiatan yang menghasilkan *output* yang menguntungkan. Kegiatan industri ini ada karena dilandaskan oleh kebutuhan hidup yang semakin memberi tuntutan kepada manusia, sehingga mau tidak mau memberikan dorongan kepada manusia untuk berpikir lebih maju bagaimana cara agar mereka terlepas akan himpitan kebutuhan hidupnya, salah satunya dengan membuat atau mendirikan usaha yakni industri dalam skala kecil atau bahkan besar sekalipun. Meskipun dilain sisi, perkembangan teknologi turut mendukung dari adanya perkembangan kegiatan industri tersebut. Sebagaimana industri tekstil yang saat ini telah memberikan banyak keuntungan mengingat banyaknya pecinta tekstil pada masa sekarang (Putri, 2016).

Industri tekstil adalah industri yang memproduksi atau mengolah bahan mentah, bahan baku dan atau bahan setengah jadi, menjadi produk tekstil yang bernilai tinggi. Industri tekstil di Indonesia menghasilkan berbagai macam produk, baik untuk pasar dalam maupun luar negeri. Proses pembuatannya dilakukan secara konvensional maupun secara modern (Agustina & Badewasta, 2009). Batik merupakan salah satu industri tekstil di Indonesia. Sejak batik diresmikan sebagai Warisan Budaya Takbenda oleh UNESCO pada tahun 2009, industri batik terus berkembang pesat, dan memberikan kontribusi yang signifikan terhadap pertumbuhan ekonomi Indonesia (Triwiswara, 2019). Keberadaan industri batik sendiri juga berperan dalam pemberdayaan kesejahteraan perempuan karena sebagian besar pekerjanya adalah wanita (Al Rasyid & Asri, 2017). Namun, pertumbuhan industri batik tidak hanya memberikan dampak positif saja, tetapi juga dampak buruk karena menuntut penyediaan tanah, air, udara, serta energi yang besar sebagai tempat atau media dalam menjalankan aktivitasnya, dan diikuti juga dengan peningkatan limbah yang dihasilkan sebagai produk sampingnya (Prayitno, 2006).

Batik merupakan suatu cara untuk memberi hiasan pada kain dengan proses menutupi bagian-bagian tertentu menggunakan perintang. Zat perintang yang kerap digunakan dalam proses membatik adalah lilin atau malam. Lilin tersebut digunakan untuk menggambar motif batik yang kemudian kain diberi warna melalui proses pencelupan, lalu lilin dihilangkan dengan cara direbus dengan air panas. Akhirnya proses-proses tersebut akan menghasilkan sehelai kain batik dengan motif yang memiliki ciri khas dan makna tersendiri (Hamzuri, 1989). Data yang diperoleh dari Kementerian Perindustrian tahun 2017 menunjukkan bahwa jumlah produksi batik Indonesia setiap tahunnya rata-rata 500 juta meter, dimana tahapan yang dilakukan dalam pembuatannya menggunakan air sebagai bahan pendukung proses dengan kuantitas yang besar, dan hampir 85% dari penggunaan air tersebut berakhir menjadi limbah (Indrayani, 2018). Air limbah industri batik terdiri dari limbah buangan hasil pencucian kain, limbah buangan pewarnaan, limbah buangan fiksasi, dan limbah buangan penghilangan lilin pada kain (Mauliddin, 2011). Adapun limbah buangan terbanyak dihasilkan dari proses pewarnaan atau pencelupan kain.

Parameter kualitas air limbah dapat dikelompokkan menjadi tiga, yaitu parameter organik, karakteristik fisik, dan kontaminan spesifik (Maharani, 2017). Industri batik menimbulkan dampak berupa air limbah organik dengan volume yang besar, warna yang pekat, berbau menyengat, serta memiliki suhu, keasaman (pH), Biochemical Oxygen Demand (BOD), Chemical Oxygen Demand (COD), Total Suspended Solid (TSS) yang tinggi (Kurniawan, 2013). Hal ini disebabkan oleh penggunaan zat warna dan bahan kimia lainnya selama proses

produksi batik. Air limbah batik termasuk limbah berbahaya dan beracun (B3) karena mengandung polutan toksik yang dapat mengontaminasi sistem ekologi termasuk sumber air terbuka seperti laut, sungai dan danau, udara serta tanah. Secara langsung maupun tidak langsung, keberadaan air yang terkontaminasi oleh polutan tersebut membawa dampak yang merugikan bagi kesehatan manusia dan kelangsungan hidup makhluk biotik serta kelestarian alam (Beulah & Muthukumar, 2020; Triwiswara, 2019). Guna meminimalisir dampak buruk yang ditimbulkan air limbah hasil kegiatan industri, pemerintah mewajibkan kepada setiap pelaku usaha industri untuk mengolah limbahnya dengan baik sebelum dibuang ke lingkungan.

Persepsi dan kepedulian para pelaku industri batik terhadap masalah air limbah pada umumnya positif. Meski pengertian mereka cukup beragam, tetapi semuanya merasa bahwa tindakan membuang air limbah ke lingkungan tanpa dilakukan pengolahan terlebih dahulu akan menimbulkan berbagai masalah yang serius dan berbahaya untuk kedepannya. Pada dasarnya, mereka semua memiliki keinginan untuk berupaya mengolah limbah yang dihasilkan. Namun, terdapat beberapa kendala guna merealisasikan keinginan tersebut dikarenakan kurangnya informasi terkait pengolahan air limbah batik. Diantaranya adalah informasi mengenai bentuk pengolahan air limbah industri batik yang tepat guna dan mudah dimengerti di kalangan pelaku industri batik (Indrayani, 2018). Adapun industri batik yang sudah melakukan pengolahan air limbahnya, akan tetapi kualitas air limbah yang dihasilkan menunjukkan bahwa terdapat parameter yang masih melebihi baku mutu dan menyebabkan pencemaran.

Teknologi pengolahan air limbah merupakan salah satu teknik untuk menurunkan tingkat pencemaran dan bahaya dari air limbah. Terdapat beragam teknologi pengolahan air limbah yang dapat diterapkan, namun perlu dipertimbangkan beberapa hal yaitu harus dapat dioperasikan dan dipelihara oleh pihak industri, dapat menurunkan pencemaran dalam air limbah ke tingkat yang sesuai atau lebih rendah dari baku mutu yang ditetapkan, layak secara ekonomi dalam pembangunan (konstruksi), operasional dan pemeliharannya (Nurlela, 2018). Oleh karena itu, pada studi ini akan dilakukan kajian secara mendalam mengenai pengolahan yang ideal untuk air limbah industri batik.

1.2 Rumusan Masalah

1. Bagaimana kualitas air limbah industri batik dan dampak pencemaran yang ditimbulkan.
2. Bagaimana konfigurasi pengolahan air limbah industri batik.
3. Bagaimana penerapan pengolahan yang ideal pada studi kasus air limbah industri batik.

1.3 Tujuan

Tujuan dilakukannya studi ini adalah:

1. Mengkaji berbagai pustaka yang berkaitan dengan kualitas air limbah industri batik dan dampak pencemaran yang ditimbulkan.
2. Mengkaji berbagai pustaka yang berkaitan dengan konfigurasi pengolahan air limbah industri batik.
3. Pemilihan dan penerapan pengolahan yang ideal pada studi kasus air limbah industri batik.

1.4 Ruang Lingkup

Ruang lingkup dari studi ini adalah:

1. Kualitas air limbah industri batik dan dampak pencemaran yang ditimbulkan.
2. Prinsip dasar, mekanisme, efisiensi, kelebihan dan kekurangan metode pengolahan air limbah industri batik.

3. Baku mutu air limbah industri batik berdasarkan Peraturan Daerah Istimewa Yogyakarta Nomor 7 Tahun 2016.
4. Penulisan dilakukan dengan metode pengumpulan data, pengambilan data, dan menganalisis hasil kajian.

1.5 Manfaat

Manfaat yang diperoleh dari studi ini adalah:

1. Memberikan kontribusi pustaka mengenai kualitas air limbah industri batik dan dampak pencemaran yang ditimbulkan.
2. Memberikan kontribusi pustaka mengenai metode pengolahan air limbah industri batik.
3. Memberikan solusi dan rekomendasi alternatif pengolahan yang dapat digunakan pada studi kasus air limbah industri batik.

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Proses Produksi dan Limbah Industri Batik

Industri batik telah banyak tersebar di berbagai wilayah Indonesia, dan akan terus berkembang secara luas. Adapun macam batik yang dikenal oleh masyarakat saat ini yaitu batik tulis, cap, kombinasi (tulis dan cap), maupun *printing*. Namun, klasifikasi jenis batik asli sebagai warisan budaya Indonesia hanyalah batik tulis, cap, dan kombinasi. Hal ini karena proses produksi batik secara garis besar terdapat lima tahapan yaitu persiapan, pematikan, pewarnaan, pelepasan lilin, serta pelorodan. Sedangkan batik *printing* teknis pembuatannya melalui proses sablon manual (seperti pembuatan spanduk/kaos), atau *printing* mesin pabrik. Oleh karena proses pembuatannya tidak melalui pematikan (pelapisan malam), batik *printing* tidak diakui sebagai batik melainkan hanya disebut sebagai kain bermotif batik (Nawawi, 2018). Bahan baku yang digunakan dalam produksi batik adalah kain mori, malam, serta pewarna. Kain mori berfungsi sebagai media yang akan diberi pola. Malam batik terbuat dari campuran bahan organik sintetis maupun bukan sintetis, sebagai bahan perintang warna pada proses pematikan (Apriyani, 2018). Sedangkan, pewarna digunakan untuk memberikan warna pada kain.

Pada industri batik, setiap proses produksinya menghasilkan limbah. Limbah industri sebagai sisa hasil akhir dari proses pengolahan bahan dan produksi manufaktur dapat berwujud limbah cair, padat maupun gas. Berikut merupakan tahapan proses produksi batik dan sumber limbahnya:

1. Persiapan

Tahap persiapan dalam pembuatan batik ini terdiri dari berbagai proses, diantaranya yaitu penyediaan kain, pengetelan dan pencucian, penganjian tipis, pengeringan, penghalusan, serta pemolaan. Adapun maksud dari tahapan tersebut adalah sebagai berikut:

- a. Penyediaan kain, dilakukan dengan menyediakan kain mori dan memotongnya sesuai dengan ukuran yang diinginkan
- b. Pengetelan dan pencucian, dilakukan untuk menstabilkan dimensi pada kain, menghilangkan zat pengotor yang menempel pada kain mori agar tidak mengganggu proses pewarnaan
- c. Penganjian tipis dilakukan untuk mendapatkan permukaan yang rata, sehingga memudahkan proses pematikan dan penghilangan lilin batik
- d. Penghalusan permukaan kain mori dilakukan untuk mempermudah pengerjaan proses pemolaan
- e. Pemolaan sendiri merupakan proses pembuatan pola sedemikian rupa pada kain mori

(Balai Besar Kerajinan dan Batik, 1985; Yayasan Kadin Indonesia, 2008)

2. Pematikan

Proses yang dilakukan berupa penempelan malam sebagai bahan utama perintang batik pemori. Mori yang telah dibuat polanya kemudian dimalam dengan canting tulis maupun canting cap. Pada umumnya pelekatan lilin ini menggunakan alat yang disebut dengan canting, untuk canting batik tulis yang dipakai saat membuat pola batik adalah canting klowongan atau canting dengan cucuk ukuran sedang. Ada pula cara pematikan lainnya adalah dengan menggunakan cap yang telah berbentuk pola. Setelah pola pokok selesai dimalam, kemudian dilakukan pembuatan isen-isennya (Suprihatin, 2014). Bahan baku

pembuatan malam batik terdiri dari tujuh macam, yaitu damar mata kucing, *gondorukem/resina colophonium*, kote (lilin lebah), parafin, *microwax*, kendal dan lilin bekas (residu dari proses pembatikan) (Apriyani,2018).

3. Pewarnaan

Motif batik yang telah dicap ataupun ditulis dengan lilin malam merupakan gambaran atau motif dari batik yang akan dibuat. Proses selanjutnya pemberian warna sehingga pada tempat yang terbuka menjadi berwarna, sedangkan tempat yang ditutup lilin tidak terkena warna yang diwarnai. Proses pewarnaan ini dilakukan dengan cara pencelupan air pewarna yang diberi warna (Suprihatin, 2014). Zat pewarna yang digunakan dapat berupa pewarna alami maupun buatan (sintetis).

a. Pewarna Alami

Zat warna alami pada umumnya diperoleh dari hasil ekstrak berbagai bagian tumbuhan seperti akar, kayu, daun, biji, bunga. Pengrajin batik telah mengenal banyak tumbuhan yang dapat digunakan sebagai pewarna bahan tekstil beberapa diantaranya adalah daun pohon nila (*indofera*), kulit pohon sogu tinggi (*Ceriops candolleana arn*), kayu tegeran (*Cudraina javanensis*), kunyit (*curcuma*), teh (*Camelia sinensis*), akar mengkudu (*Morinda citrifelia*), kulit sogu jambal (*Pelthophorum ferruginum*), kesumba (*Bixa orelana*), daun jambu biji (*Psidium guajava*), kayu secang (*Caesalpinia sappan Linn*) (Susanto, 1973). Proses ekstraksi komponen pewarna dari bahan tanaman merupakan proses yang penting untuk menghasilkan warna yang berkualitas baik. Pewarna alami dapat diekstrak dengan menggunakan air dengan atau tanpa penambahan garam/asam/alkali/alkohol, selanjutnya dikeringkan pada suhu 37-40°C, sehingga kadar airnya mencapai 10-15%. Setelah kering, bahan dihaluskan sehingga berwujud bubuk (Ratih, 2014).

Berdasarkan jenis warna yang dimunculkannya, pewarna alam dapat dikelompokkan menjadi:

1. Pewarna warna merah, biasanya terdapat di bagian akar atau barkas tanaman. Senyawa penyusunnya pada umumnya adalah *anthraquinone* dan *derivatinya*. Warna ini bersifat stabil terhadap sinar dan pencucian.
2. Pewarna warna kuning, warna kuning merupakan warna umum di alam. Sekitar 90% pewarna kuning berupa senyawa flavanoid.
3. Pewarna warna biru, senyawa aktifnya berupa indigan.
4. Pewarna warna gelap, biasanya diperoleh dari tanaman yang kaya akan tanin. (Ratih, 2014)

b. Pewarna Buatan (Sintetis)

Pewarna sintesis adalah zat warna dengan bahan dasar buatan yaitu hidrokarbon, aromatik dan naftalena yang berasal dari batubara. Zat pewarna kimia tersebut dapat diklasifikasikan menjadi tujuh bahan warna yaitu: naphthol, indigosol, rapide, ergan sogu, kopel sogu, chroom sogu, dan procion. Pewarna sintetis lebih banyak digunakan oleh pelaku industri batik lantaran warnanya lebih stabil, tersedia dalam banyak aneka warna, penggunaannya praktis dan harga yang relatif terjangkau (Apriyani, 2018, Yuliana 2021).

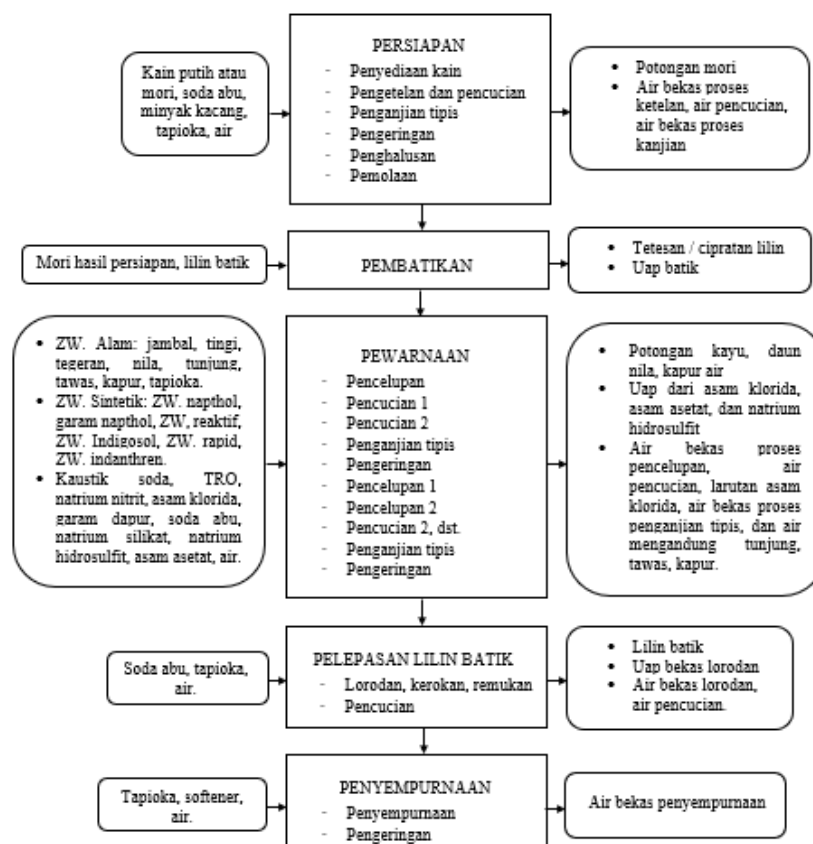
Dalam proses pewarnaan, perlu dilakukan juga proses mordanting untuk meningkatkan afinitas pewarna ke dalam bahan/kain. Adapun senyawa mordan yang digunakan antara lain tunjung, tawas, Turkish Red Oil (TRO), garam dapur dan sebagainya (Ratih,2014).

4. Pelepasan lilin batik

Pelepasan lilin batik merupakan proses menghilangkan lilin malam yang menempel pada kain batik, proses dapat dilakukan dengan cara menghilangkan sebagian atau keseluruhan. Menghilangkan lilin sebagian atau setempat adalah melepaskan lilin pada tempat-tempat tertentu dengan cara menggaruk lilin itu dengan alat semacam pisau, pekerjaan ini disebut "ngerok" atau ngerik". Sedangkan, menghilangkan lilin secara keseluruhan dilakukan pada tengah-tengah proses pembuatan batik atau pada akhir proses pembuatan batik. Pada pembuatan kain batik secara lorodan, di tengah-tengah proses pembuatan batik tidak diadakan kerokan, tetapi kain tersebut dilorod dimana lilin dihilangkan seluruhnya. Kemudian pada warna-warna yang tidak boleh ketumpangan warna lain atau di tempat-tempat yang akan tetap putih, ditutup dengan lilin (penutupan dilakukan dengan tangan). Menghilangkan lilin keseluruhan pada akhir proses pembuatan batik, disebut "mbabar" atau "ngebyok" atau melorod. Menghilangkan lilin secara keseluruhan ini dikerjakan dengan cara pelepasan di dalam air panas, di mana lilin meleleh dan lepas dari kain (Sunarto, 2008). Proses pelorodan bisa dikatakan berhasil apabila semua lilin dapat larut serta tidak mempengaruhi warna dan kekuatan kain (Susanto, 1980).

5. Penyempurnaan

Penyempurnaan merupakan tahap akhir dari proses pembuatan batik. Setelah dilakukan lorodan kain, kemudian dicuci bersih dan dilanjutkan dengan proses penyempurnaan. Proses penyempurnaan yang dilakukan pada kain batik biasanya berupa pelepasan, penganjian tipis, pengeringan, *press*/setrika dan pengemasan (Setyowati & Winantu, 2016). Tahap ini dilakukan sedemikian rupa untuk menyempurnakan kain sehingga dapat menghasilkan kualitas kain batik yang baik dan sesuai keinginan.



Gambar 2.1 Alur Proses Produksi Batik dan Sumber Limbahnya

Sumber: Yayasan Kadin Indonesia, 2008

Berdasarkan bagan alir yang terlampir pada Gambar 2.1, dapat diketahui bahwa industri batik termasuk salah satu penghasil limbah cair yang sangat besar dan kompleks. Limbah cair atau air limbah merupakan air bekas pakai dari berbagai proses penggunaan yang telah mengandung bahan pencemar atau polutan berupa senyawa organik dan anorganik (Martini, 2020; Nurdalia, 2006). Pada proses penganjiran, umumnya berpotensi dalam meningkatkan kadar zat tersuspensi air limbah (Sumantri, 2006). Proses persiapan, pewarnaan, pelorodan, dan penyempurnaan kain dapat meningkatkan nilai *Chemical Oxygen Demand* (COD). Kegiatan pelorodan juga turut berkontribusi dalam meningkatkan *Biological Oxygen Demand* (BOD), minyak dan lemak, serta fenol (Apriyani, 2018; Hidayat, 2021). Fenol sendiri banyak terkandung dalam lilin (malam) yang digunakan selama proses pembatikan (Ayuningtyas, 2020). Selain dari kegiatan pelorodan, minyak dan lemak juga berasal dari penggunaan minyak pada proses persiapan kain batik. Penggunaan nitrit sebagai garam untuk bahan pembantu proses pewarnaan berpotensi meningkatkan kadar amonia (Indrayani, 2018) sedangkan natrium hidrosulfit meningkatkan kadar sulfida.

Proses pewarnaan, pelorodan, dan penyempurnaan kain menghasilkan air limbah yang mengandung warna. Zat warna tersebut umumnya sukar untuk terdegradasi dengan baik, dan didesain untuk memiliki tingkatan kimia yang tinggi guna menahan kerusakan akibat oksidatif yang berasal dari cahaya matahari. Keseluruhan proses produksi yang diindikasikan menggunakan bahan kimia mengandung logam berat sebagai bahan pembantu dapat meningkatkan kadar unsur logam berat dalam air limbah, seperti krom (Cr) yang biasanya terkandung dalam pewarna sintesis, (Apriyani, 2018; Indrayani, 2018) dan besi (Fe) yang berasal dari penggunaan tunjung sebagai mordan. Pembuangan air limbah mengandung logam berat ke badan air dapat menyebabkan zat tersebut menumpuk secara bertahap pada bagian dasar badan air, kemudian akan terakumulasi dalam sedimen dan dilepaskan ke permukaan air. Logam berat dapat berpindah dari lingkungan ke organisme, serta dari organisme satu ke organisme lain melalui rantai makanan (Ayob, 2021).

2.2. Karakteristik Air Limbah Industri Batik

Mengetahui lebih luas tentang air limbah, perlu dilakukan karakterisasi untuk mengetahui sifat, komponen, jenis zat kandungan apa saja yang ada di dalam air limbah. Tercecar atau tidaknya air limbah dipengaruhi oleh sifat fisik yang dapat diamati secara visual karena memiliki efek estetika, kejernihan, warna, bau, dan temperatur pada air limbah (Sitorus, et.al, 2021). Karakteristik air limbah dapat digolongkan menjadi tiga, antara lain:

1. Karakteristik Fisik

Karakteristik fisik air limbah meliputi temperatur, pH, bau, warna, dan padatan. Temperatur menunjukkan derajat atau tingkat panas air limbah yang ditunjukkan kedalam skala. Suhu dapat mempengaruhi kadar Dissolved Oxygen (DO) dalam air. Kenaikan temperatur sebesar 10°C dapat menyebabkan penurunan kadar oksigen sebesar 10% dan akan mempercepat metabolisme 2 kali lipat. Adanya bau yang lain pada air limbah, menunjukkan adanya komponen-komponen lain di dalam air tersebut. Warna biasanya disebabkan oleh adanya materi *dissolved*, *suspended*, dan senyawa-senyawa koloidal, yang dapat dilihat dari spektrum warna yang terjadi. Padatan yang terdapat di dalam air limbah dapat diklasifikasikan menjadi *floating*, *settleable*, *suspended* atau *dissolved*, berbau menyengat, dan kontaminan akan membuat air menjadi keruh. Timbulnya gejala tersebut secara mutlak dapat dipakai sebagai salah satu tanda terjadinya tingkat pencemaran air yang cukup tinggi (Wardhana, 2001).

2. Karakteristik kimia

Karakteristik kimia meliputi pH, Chemical Oxygen Demand (COD), dan Dissolved Oxygen (DO). COD merupakan banyaknya oksigen yang diperlukan untuk menguraikan bahan organik secara kimiawi. Nilai COD yang semakin tinggi menunjukkan bahwa semakin buruk kualitas air tersebut. DO merupakan ukuran banyaknya kandungan oksigen yang terlarut dalam air. Oksigen terlarut ini merupakan hal yang paling penting untuk kelangsungan hidup biota air. Kematian biota air karena menurunnya kandungan oksigen dalam air dapat merupakan salah satu indikator tercemarnya air (Apriyani, 2018).

3. Karakteristik Biologis

Mikroorganisme ditemukan dalam jenis yang sangat bervariasi hampir dalam semua bentuk air limbah, biasanya dengan konsentrasi 105-108 organisme/mL. Keberadaan bakteri dalam unit pengolahan air limbah merupakan kunci efisiensi proses biologis. Bakteri juga berperan penting untuk mengevaluasi kualitas air (Purwaningsih, 2008).

2.3 Baku Mutu Air Limbah Industri Batik

Pada umumnya, air limbah memiliki kuantitas yang lebih besar dibandingkan limbah jenis lainnya serta memiliki tipikal kandungan polutan yang lebih beragam juga berbahaya. Oleh karena itu, pemerintah menetapkan standar kualitas air limbah bagi industri dan/atau kegiatan usaha lainnya. Standar air layak pakai yang diharapkan biasanya memiliki karakteristik yang bervariasi dan disesuaikan dengan peruntukannya, antara lain untuk keperluan air minum, air irigrasi, atau air proses yang dapat dimanfaatkan untuk kebutuhan proses industri tertentu (Martini, et.al., 2020). Standar baku mutu air limbah merupakan kadar pencemar yang diperbolehkan untuk dibuang ke lingkungan. Adapun parameter pencemar yang digunakan untuk mengukur kualitas air limbah industri batik antara lain BOD₅, COD, TDS, TSS, Fenol Total, Krom Total, Ammonia Total (NH₃-N), Sulfida (sebagai S), Minyak dan Lemak, serta pH.

a. BOD₅

Biochemical Oxygen Demand (BOD) secara sederhana didefinisikan sebagai jumlah oksigen terlarut yang dibutuhkan oleh mikroorganisme saat mengurai atau mendekomposisi bahan organik dalam kondisi aerobik (Patel & Vashi, 2015). Ditegaskan lagi oleh Boyd (1990), bahwa bahan organik yang terdekomposisi dalam BOD adalah bahan organik yang siap terdekomposisi (*readily decomposable organic matter*). Dapat dikatakan bahwa walaupun nilai BOD menyatakan jumlah oksigen, tetapi untuk mudahnya dapat juga diartikan sebagai gambaran jumlah bahan organik mudah urai (*biodegradable organics*) yang ada di perairan (Atima, 2015). Di dalam lingkungan, bahan organik banyak terdapat dalam bentuk karbohidrat, protein, dan lemak yang membentuk organisme hidup dan senyawa-senyawa lainnya yang merupakan sumber daya alam yang sangat penting dan dibutuhkan oleh manusia. Secara normal, bahan organik tersusun oleh unsur-unsur C, H, O, dan dalam beberapa hal mengandung N, S, P, dan Fe (Achmad, 2004).

BOD digunakan untuk menentukan kebutuhan relatif oksigen air limbah, dan air yang tercemar, selain itu parameter ini juga memberikan gambaran tentang tingkat pencemaran. Pada dasarnya, pengukuran atau uji BOD mengacu pada prosedur *bioassay* (uji hayati), menyangkut pengukuran oksigen yang dibutuhkan oleh mikroorganisme seraya memanfaatkan bahan organik yang ada dalam limbah pada kondisi yang semirip mungkin dengan yang terjadi di alam (Patel & Vashi, 2015). Prinsip pengukuran BOD

pada dasarnya cukup sederhana, yaitu mengukur kandungan oksigen terlarut awal (DO_i) dari sampel segera setelah pengambilan contoh, kemudian mengukur kandungan oksigen terlarut pada sampel yang telah diinkubasi selama 5 hari pada kondisi gelap dan suhu tetap (20°C) yang sering disebut dengan DO_5 . Selisih DO_i dan DO_5 ($DO_i - DO_5$) merupakan nilai BOD yang dinyatakan dalam miligram oksigen per liter (mg/L). Pada prakteknya, pengukuran BOD memerlukan kecermatan tertentu mengingat kondisi sampel atau perairan yang sangat bervariasi, sehingga kemungkinan diperlukan penetralan pH, pengenceran, aerasi, atau penambahan populasi bakteri. Pengenceran dan/atau aerasi diperlukan agar masih cukup tersisa oksigen pada hari kelima (Atima, 2015).

b. COD

Chemical Oxygen Demand (COD) adalah jumlah oksigen yang diperlukan untuk mengurai seluruh bahan organik yang terkandung dalam air (Boyd, 1990). Hal ini karena bahan organik yang ada sengaja diurai secara kimia dengan menggunakan oksidator kuat kalium bikromat pada kondisi asam dan panas dengan katalisator perak sulfat (Boyd, 1990; Metcalf & Eddy, 1991). Sehingga segala macam bahan organik, baik yang mudah urai maupun yang kompleks dan sulit urai, akan teroksidasi. Dengan demikian, selisih nilai antara COD dan BOD memberikan gambaran besarnya bahan organik yang sulit urai yang ada di perairan (Atima, 2015).

Uji COD banyak digunakan untuk mengukur tingkat pencemaran dengan menunjukkan kondisi toksik dan adanya bahan organik yang resisten secara biologis pada limbah domestik dan industri (Patel & Vashi, 2015). Pada prinsipnya pengukuran COD adalah penambahan sejumlah tertentu kalium bikromat ($\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$) sebagai oksidator pada sampel (dengan volume diketahui) yang telah ditambahkan asam pekat dan katalis perak sulfat, kemudian dipanaskan selama beberapa waktu. Selanjutnya, kelebihan kalium bikromat ditera dengan cara titrasi. Dengan demikian kalium bikromat yang terpakai untuk oksidasi bahan organik dalam sampel dapat dihitung dan nilai COD dapat ditentukan. Kelemahannya, senyawa kompleks anorganik yang ada di perairan yang dapat teroksidasi juga ikut dalam reaksi (Atima, 2015). Nilai COD akan selalu lebih tinggi dari BOD, hal ini karena COD mengukur zat yang teroksidasi baik secara kimia maupun biologis. Rasio COD:BOD menggambarkan proporsi bahan organik yang terkandung dalam air limbah (Wijaya & soedjono, 2014).

c. TDS

Total Dissolved Solid (TDS) menyatakan jumlah total zat terlarut baik yang organik maupun anorganik dalam air limbah. TDS umumnya berukuran sangat kecil dan dapat dipisahkan dengan filter. Parameter ini dapat diukur dengan TDS meter, dimana TDS meter ini akan menggambarkannya dalam satuan Part Per Million (PPM) atau sama dengan miligram per Liter (mg/L) yang akan ditunjukkan berupa angka digital pada *display*-nya (Indrayani, 2018; Ningrum & Nurhadi, 2018).

d. TSS

Total Suspended Solid (TSS) merupakan bahan-bahan tersuspensi dengan diameter $> 1 \mu\text{m}$ yang tertahan pada saringan mili pore dengan diameter pori-pori $0,45 \mu\text{m}$ (Effendi, 2003). Padatan tersuspensi meliputi berbagai partikel yang memiliki berat serta ukuran yang tidak lebih besar dari sedimen. Contohnya tanah liat, sel-sel mikro, serta berbagai bahan organik tertentu, dan sebagainya. Karena daya gravitasi bumi dari proses *settling* zat yang mengambang dalam air, padatan tersuspensi ini turun dengan sendirinya. Padatan tersuspensi bisa mereduksi masuknya sinar ataupun cahaya ke

dalam air dan memberikan pengaruh pada fotosintesis dan oksigen (Devy & Haryanto, 2021). Pengendapan zat di dasar badan air, akan mengganggu kehidupan di dalam badan air tersebut, selain itu juga menyebabkan menurunnya kadar oksigen terlarut, dan mengganggu penetrasi cahaya matahari (Hastutiningrum & Purnawan, 2017). Pengujian untuk parameter Total Suspended Solid (TSS) dapat dilakukan dengan metode gravimetri, yang mengacu pada ketentuan SNI 6989.3:2019 yaitu contoh uji larutan yang telah homogen disaring dengan media penyaring yang telah ditimbang. Residu yang tertahan pada media penyaring dikeringkan pada suhu $103^{\circ}\text{C} - 105^{\circ}\text{C}$ hingga mencapai berat tetap. Kenaikan berat saringan mewakili Total Padatan Tersuspensi (TSS).

e. Fenol Total

Salah satu senyawa organik yang terdapat dalam air limbah batik adalah fenol. Fenol didefinisikan sebagai turunan hidroksil dari benzena yang memiliki bau khas. Fenol dapat diolah secara biologis hingga 700 mg/L secara aerobik dan hingga 200 mg/L secara anaerobik. Fenol di lingkungan air dapat timbul dari degradasi zat alami, kegiatan industri, dan pertanian (Patel & Vashi, 2015). Fenol banyak terkandung dalam lilin yang digunakan selama proses pembatikan. Pengukuran kadar fenol dapat dilakukan secara spektrofotometri, yang mengacu pada ketentuan SNI 06-6989.21-2004, dengan prinsip semua fenol dalam air akan bereaksi dengan 4-aminoantipirin pada pH $7,9 \pm 0,1$ dalam suasana larutan kalium ferri sianida akan membentuk warna merah kecoklatan dari antipirin. Warna yang terbentuk diukur absorbansinya pada panjang gelombang 460 nm atau 500 nm.

f. Krom Total

Kromium dapat masuk ke dalam semua strata lingkungan, baik itu pada strata perairan, tanah atau pun udara (lapisan atmosfer). Kromium mampu masuk ke dalam perairan dengan dua cara, yaitu secara alamiah dan non-alamiah. Kromium masuk secara alamiah disebabkan oleh beberapa faktor fisika, semacam erosi (pengikisan) yang terjadi pada batuan mineral. Debu-debu dan partikel kromium yang di udara akan dibawa turun oleh air hujan. Kromium masuk secara non-alamiah ialah dampak atau efek dari kegiatan manusia. Sumber kromium yang berkaitan dengan kegiatan manusia bisa berupa limbah atau buangan industri sampai buangan rumah tangga (Listiana, 2013). Krom merupakan salah satu logam berat yang dihasilkan dari proses produksi industri batik. Dalam industri batik, krom berasal dari senyawa krom yang digunakan pada proses pencelupan baik sebagai zat warna (dalam senyawa CrCl_3 $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$) maupun sebagai mordan yaitu pengikat zat warna $\text{Cr}(\text{NO}_3)_3$, dan PbCrO_4 (Ningrum & Nurhadi, 2018).

g. Ammonia Total ($\text{NH}_3\text{-N}$)

Nitrogen adalah elemen struktural dasar protein biologis dalam kehidupan. Dalam air, salah satu bentuk utama nitrogen adalah amonia nitrogen ($\text{NH}_3\text{-N}$). $\text{NH}_3\text{-N}$ sangat penting untuk organisme hidup, tetapi jika kadarnya melebihi ambang batas dapat menyebabkan pencemaran lingkungan (harianingsih, et. al., 2000).

h. Sulfida

Sulfida merupakan senyawa dari siklus alam dan sumber antropogenik yang sangat menyukai lingkungan berair dan tanah lembab sehingga dapat memicu reduksi keasaman air (LaOde, 2011). Metode pengujian Sulfida (H_2S) air limbah dapat dilakukan secara spektrofotometri dengan biru metilen sesuai SNI 6989.70:2009,

dimana secara prinsip sulfida bereaksi dengan ferri klorida dan dimetil-p-fenilendiamina yang kemudian membentuk senyawa berwarna biru metilen, lalu diukur menggunakan spektrofotometer UV-Visible dengan panjang gelombang 664 nm.

i. Minyak dan Lemak

Minyak dan lemak merupakan senyawa organik yang berasal dari alam dan tidak dapat larut di dalam air namun dapat larut dalam pelarut organik non-polar. Minyak dan lemak dapat larut karena memiliki polaritas yang sama dengan pelarut organik non-polar, contohnya adalah dietil eter ($C_2H_5OC_2H_5$), kloroform ($CHCl_3$), dan benzena. Minyak dan lemak termasuk salah satu anggota golongan lipid yaitu merupakan lipid netral. Berdasarkan sifat fisiknya, minyak dan lemak merupakan senyawa yang tak larut dalam air yang diestrak dari organisme hidup menggunakan pelarut yang kepolarannya lemah atau pelarut non polar. Minyak dan lemak merupakan campuran lipid yang terdiri dari triacylglycerols 95% dan sisanya adalah diacylglycerols, monoacylglycerols dan *free fatty acids* (FFA). Minyak memiliki struktur ester, sedangkan lemak memiliki struktur asam karboksilat dengan rantai hidrokarbon yang berkisar mulai dari 4 hingga 36 $C_4 - C_{36}$. Minyak banyak mengandung ikatan rangkap sedangkan lemak banyak mengandung ikatan tunggal (Maharani, 2017).

j. pH

Potential Hydrogen (pH) adalah parameter yang menandakan tingkat keseimbangan asam-basa yang dicapai oleh berbagai senyawa terlarut. Di sebagian besar perairan alami, pH dikendalikan oleh CO_2 , sistem kesetimbangan CO_3 , dan HCO_3 . PH lingkungan memiliki efek yang mendalam pada laju pertumbuhan mikroba, juga mempengaruhi fungsi enzim metabolisme. Kondisi asam (pH rendah) atau kondisi basa (pH tinggi) mengubah struktur enzim dan menghentikan pertumbuhan. (Patel & Vashi, 2015). Nilai $pH > 7$ menandakan larutan bersifat asam, nilai $pH < 7$ menandakan larutan bersifat basa, dan nilai $pH = 7$ bersifat netral, untuk melakukan pengukuran derajat keasaman (pH) dapat dilakukan dengan menggunakan pH meter.

Tabel 2.1 Baku Mutu Air Limbah Industri Batik

Parameter	PROSES BASAH		PROSES KERING	
	Kadar Paling Banyak (mg/L)	Beban Pencemaran Paling Banyak (kg/ton)	Kadar Paling Banyak (mg/L)	Beban Pencemaran Paling Banyak (kg/ton)
BOD	85	5,1	85	1,275
COD	250	15	250	3,75
TDS	2.000	120	2.000	30
TSS	60	3,6	80	1,2
Fenol	0,5	0,03	1	0,015
Krom Total (Cr)	1	0,06	2	0,03

Amonia Total (NH ₃ Sebagai N)	3	0,18	3	0,045
Sulfida (sebagai S)	0,3	0,018	0,3	0,0045
Minyak dan Lemak Total	5	0,3	5	0,075
Suhu	± 3°C terhadap suhu udara			
pH	6,0 – 9,0			
Timbal (Pb)*	1			
Tembaga (Cu)*	2			
Seng (Zn)*	10			
Debit limbah Paling Banyak (m ³ /Ton produk batik)	60		15	

Sumber: Peraturan Daerah Istimewa Yogyakarta Nomor 7 Tahun 2016

2.4 Metode Pengolahan Air Limbah Batik

Air limbah atau limbah cair yang telah diolah dapat dimanfaatkan lebih lanjut untuk berbagai kebutuhan yang produktif, bahkan sebagai sumber air minum. Kualitas air olahan yang akan dipergunakan sebagai sumber air minum yang layak dikonsumsi harus memenuhi syarat yang ditetapkan sehingga menjamin kesehatan manusia dalam jangka pendek maupun jangka panjang. Begitu juga dengan air limbah yang akan didaur ulang untuk kebutuhan lainnya (*recycle*) yang masih mengandung berbagai polutan akibat paparan limbah, harus melewati tahapan pengolahan untuk menghilangkan atau setidaknya menurunkan konsentrasi polutan tersebut secara signifikan, baik polutan yang dapat terdeteksi secara visual maupun yang hanya dapat diketahui dengan pengujian di laboratorium (Martini, 2020). Unit pengolahan limbah pada umumnya terdiri dari unit operasi dan unit proses. Unit operasi meliputi pengolahan fisik, sedangkan unit proses meliputi pengolahan kimia dan pengolahan biologis (Maharani, 2017).

2.4.1 Pengolahan Fisik

Pengolahan air limbah secara fisik merupakan jenis pengolahan air limbah dengan memanfaatkan aktivitas fisik (Maharani, 2017). Adapun metode pengolahan air limbah batik secara fisik antara lain:

2.4.1.1 Adsorpsi

Adsorpsi sendiri merupakan proses pemisahan suatu fluida (adsorbat) menuju permukaan zat padat yang menyerap (adsorben). Perpindahan ini terjadi karena gaya tarik atom di permukaan zat padat yang tidak berimbang. Pada proses adsorpsi umumnya diberikan *pre treatment* untuk memperbesar luas permukaan, karena semakin luas permukaan maka semakin optimal pula daya adsorpsinya. Luas permukaan mempengaruhi daya kapasitas adsorpsi total dimana dapat meningkatkan daya keefektifan adsorben dalam penyerapan zat pencemar dalam cairan khususnya limbah cair (Purwaningsih, et.al., 2021).

2.4.2 Pengolahan Kimia

Pengolahan air limbah secara kimia merupakan proses yang menggunakan reaksi kimia untuk menyisahkan kandungan pencemar dalam air limbah. Adapun metode pengolahan air limbah batik secara kimia antara lain:

2.4.2.1 Koagulasi-flokulasi

Salah satu metode pengolahan limbah yang baik yaitu pengolahan limbah menggunakan metode koagulasi-flokulasi atau secara kimia. Koagulasi merupakan proses pengolahan air limbah dengan mendestabilisasikan partikel koloid, sedangkan flokulasi merupakan proses lanjutan koagulasi di mana partikel yang terdestabilisasi akan membentuk partikel yang lebih besar. Pada proses koagulasi flokulasi diperlukan penambahan suatu zat yang membantu proses pengendapan partikel yang disebut sebagai koagulan. Koagulan ditambahkan untuk menetralkan keadaan atau mengurangi partikel kecil yang tercampur dalam air melalui pengendapan (Nilasari, et.al., 2020).

2.4.2.2 Elektrokoagulasi

Proses elektrokoagulasi merupakan adaptasi dari proses elektrokimia dan proses koagulasi - flokulasi yang digabungkan. Hal ini diduga dapat menjadi pilihan alternatif untuk pengolahan limbah radioaktif dan limbah B3 fase cair. Pengoperasiannya menggunakan energi listrik melalui air untuk melangsungkan proses destabilisasi suspensi, emulsi dan larutan yang mengandung kontaminan. Tujuannya adalah pembentukan gumpalan dan pengendapan partikel halus yang terdapat di air (Firdaus, et.al., 2020).

2.4.3.3 *Advanced Oxidation Processes (AOPs)*

Advanced Oxidation Process (AOPs) merupakan teknologi pengembangan dari oksidasi konvensional yang bertujuan meningkatkan kemampuan oksidasi dari oksidator biasa (Imtiyaz, et.al., 2016). AOPs dapat digunakan untuk berbagai aplikasi seperti pengolahan air limbah, reklamasi air, produksi air minum, *indirect potable water reuse*, maupun pengendalian mikropolutan dalam pengolahan limbah (Sievers, 2011).

2.4.3 Pengolahan Biologis

Pengolahan limbah cair secara biologi memanfaatkan mikroorganisme yang berada di dalam air untuk menguraikan bahan-bahan polutan (Said, 2000). Adapun metode pengolahan air limbah batik secara biologi antara lain:

2.4.3.1 Proses Film Mikrobiologis (*Biofilm*)

Proses biofilm merupakan proses pengolahan air limbah yang memanfaatkan bakteri. Pengertian biofilm itu sendiri merupakan sekumpulan mikroorganisme khususnya bakteri, yang melekat pada permukaan tertentu dengan pelekat karbohidrat yang dihasilkan bakteri sebagai selimutnya. Pengembangan bakteri pada proses ini dapat dilakukan dengan atau tanpa aerasi, dengan cara mengalirkan air limbah ke dalam reaktor biologis yang di bagian dalamnya diisi media penyangga. Pengolahan limbah dengan proses biofilm dapat dilakukan dalam beberapa kondisi, diantaranya seperti kondisi anaerobik, aerobik, ataupun kombinasi keduanya. Proses aerobik dilakukan dengan kondisi adanya oksigen terlarut di dalam reaktor air limbah, dan proses anaerobik dilakukan dengan tanpa adanya oksigen dalam reaktor air limbah. Media filter diletakkan dengan posisi tercelup di bawah permukaan air (Firdaus, et.al., 2020).

2.4.3.2 Sistem Lumpur Aktif (*Activated Sludge*)

Lumpur aktif merupakan proses pengolahan air limbah secara biologis yang melibatkan reaksi – reaksi metabolik mikroba. Metode ini memanfaatkan aktivitas mikroorganisme yang dapat merombak limbah organik dan kompleks menjadi senyawa organik sederhana. Senyawa organik yang lebih sederhana dapat dikonversi menjadi gas karbondioksida (CO₂) dan air (H₂O) (Doraja et al., 2012).

2.4.3.3 *Constructed Wetlands (CWs)*

Constructed wetlands (CWs) atau lahan basah buatan merupakan suatu sistem pengolahan limbah cair yang didesain dan dikonstruksi dengan meniru proses pada lahan basah alami dengan memanfaatkan tanaman air, tanah dan mikroorganisme. CW seringkali digolongkan sebagai pengolahan secara biologis karena proses yang paling dominan adalah penyerapan polutan oleh tanaman dan mikroorganisme. Akan tetapi dalam sistem CW juga berlangsung proses lain seperti sedimentasi, filtrasi, adsorpsi dan presipitasi yang dapat meningkatkan efisiensi penurunan konsentrasi polutan (Triwiswara, 2019).

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

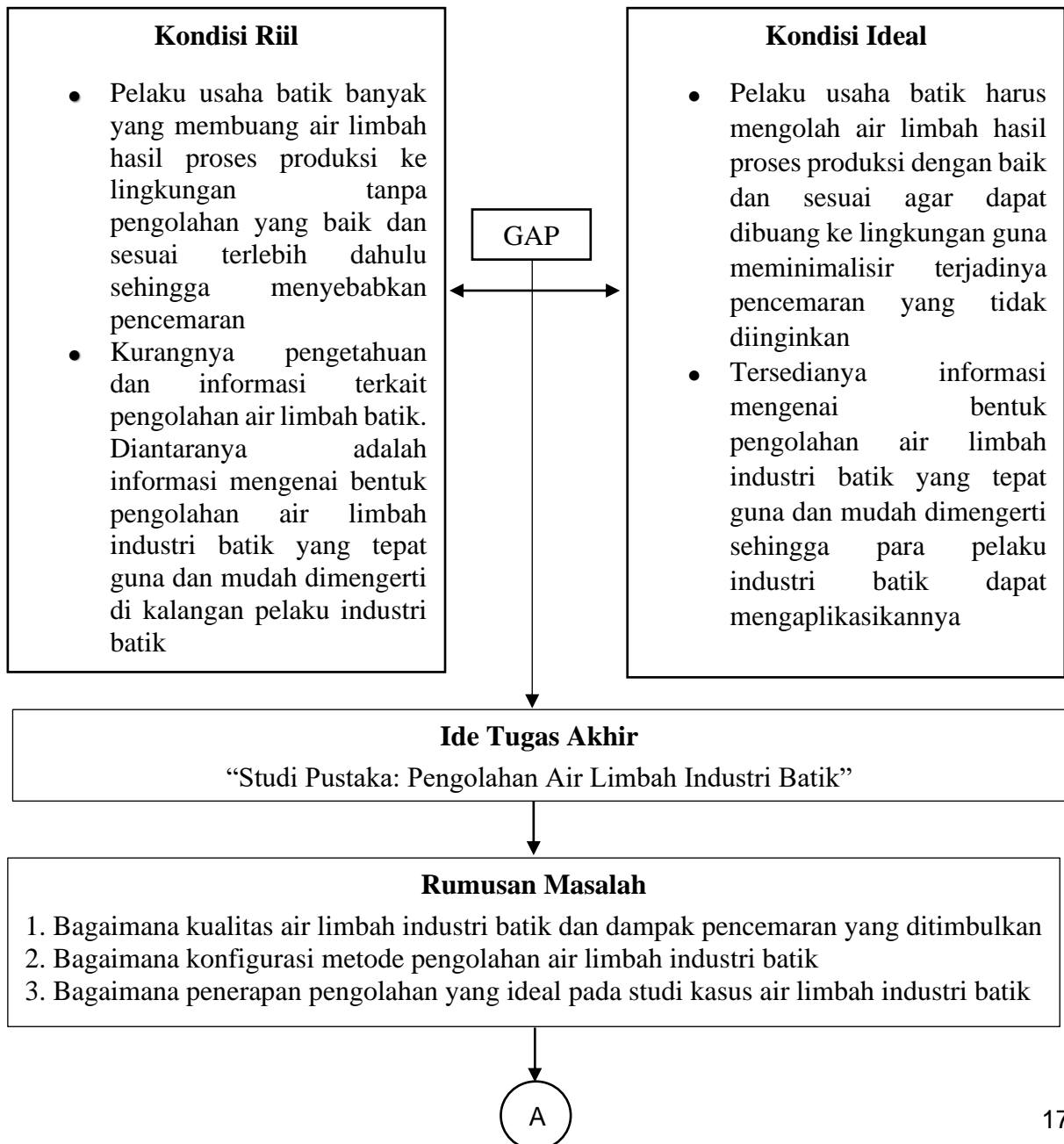
BAB III METODE PENULISAN

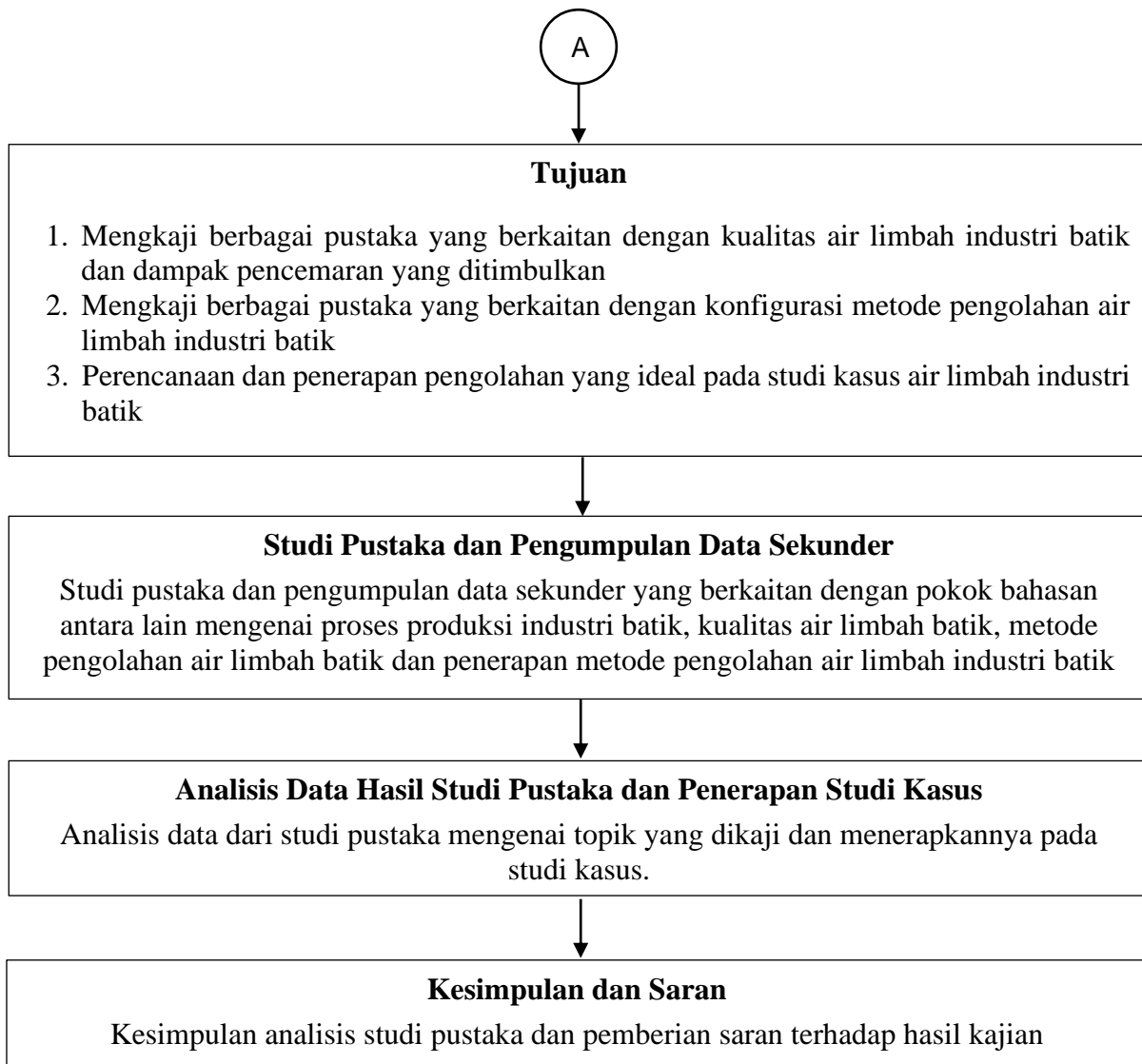
3.1 Umum

Metode penulisan ini disusun secara urut berdasarkan tahapan pelaksanaan penulisan yang akan digunakan sebagai pedoman dalam menulis Tugas Akhir untuk mencapai tujuan yang diinginkan. Penulisan studi ini dilakukan dengan mengkaji berbagai pustaka untuk menunjang ide, gagasan, maupun pemahaman mengenai topik studi dan menerapkannya melalui studi kasus.

3.2 Kerangka Penulisan

Kerangka penulisan berisi rancangan alur proses penyusunan yang sistematis dan terstruktur untuk mempermudah pengerjaan, sebagai pedoman dalam melakukan kajian serta mencapai tujuan penulisan. Kerangka penulisan dapat dilihat pada Gambar 3.1 berikut:





Gambar 3.1 Kerangka Penulisan

3.3 Tahapan Penulisan

Tahapan penulisan studi ini berisi rangkaian langkah-langkah yang sesuai dengan kerangka studi, dan akan dijalankan selama pelaksanaan Tugas Akhir ini hingga mendapatkan kesimpulan. Tahapan penulisan mencakup penetapan ide dan rumusan masalah, penetapan pokok bahasan studi pustaka dengan studi kasus, studi pustaka dan pengumpulan data sekunder, analisis data hasil studi pustaka dan penerapan studi kasus, serta kesimpulan dan saran. Berikut merupakan rangkaian kegiatan penulisan:

3.3.1 Penetapan Ide dan Rumusan Masalah

Ide Tugas Akhir ini adalah Studi Pustaka: Pengolahan Air Limbah Industri Batik. Adapun ide ini didapatkan dari analisis kesenjangan (*gap analysis*) yang dilakukan untuk mengetahui ketimpangan antara permasalahan kondisi riil dengan kondisi ideal. Permasalahan tersebut antara lain yaitu tingginya kadar polutan dalam air limbah industri batik yang seringkali menyebabkan terjadinya pencemaran lingkungan karena tidak dilakukan pengolahan yang baik dan sesuai oleh para pelaku usaha batik, serta minimnya pengetahuan maupun informasi yang dimiliki pelaku usaha batik terkait

pengolahan air limbah industri batik diantaranya adalah informasi mengenai bentuk pengolahan air limbah industri batik yang tepat guna dan mudah dimengerti. Dampak yang ditimbulkan dari pencemaran tersebut sangat berbahaya bagi biota akuatik, manusia dan unsur lingkungan hidup lainnya. Rumusan masalah pada kajian ini yaitu perlunya studi secara mendalam mengenai metode yang sesuai untuk pengolahan air limbah industri batik.

3.3.2 Penetapan Pokok Bahasan Studi Pustaka dengan Studi Kasus

Setelah penetapan ide dan rumusan masalah yang berdasar dari latar belakang, kemudian dilakukan penetapan pokok bahasan studi pustaka untuk dilakukan pengkajian secara mendalam dengan studi kasus. Pokok bahasan tersebut mencakup persoalan industri batik dan air limbahnya, metode pengolahan dan penerapan metode pengolahan pada studi kasus industri batik.

3.3.3 Studi Pustaka dan Pengumpulan Data Sekunder

Tahap ini merupakan proses pencarian, pengumpulan pustaka yang dapat dilakukan dengan menggunakan beberapa *platform* seperti Neliti Repositori Ilmiah Indonesia, *Google Scholar*, *Research Gate*, *Science Direct*, *Sci-hub* dan sebagainya untuk menunjang data dan pemahaman terkait topik studi. Studi pustaka yang akan dilakukan yaitu mengenai:

- a. Persoalan terkait industri batik yaitu proses produksi dan sumber limbah, dampak yang ditimbulkan, serta kualitas air limbah.
- b. Prinsip dasar, mekanisme, kelebihan dan kekurangan metode pengolahan serta penerapannya pada studi kasus industri batik.

Jumlah pustaka yang digunakan minimum 30 pustaka terkini, yaitu 15 untuk jurnal terkini dan 15 untuk sumber lainnya dengan rentang waktu 5 tahun terakhir. Adapun jenis pustaka relevan yang digunakan antara lain:

- Buku
- Jurnal
- Prosiding Seminar
- Situs Resmi
- Laporan Penelitian
- Skripsi
- Thesis
- Disertasi

3.3.4 Analisis Data Hasil Studi Pustaka dan Penerapan Studi Kasus

Analisis data dilakukan pada setiap data yang telah diperoleh dan diterapkan pada studi kasus. Studi kasus dilakukan untuk mengetahui kesesuaian metode pengolahan pada air limbah industri batik. Kemudian disusun melalui pemaparan atau penjelasan yang jelas dan terperinci dengan sistematika penulisan Tugas Akhir sebagai berikut:

- BAB I: PENDAHULUAN

Bab ini menjabarkan latar belakang permasalahan studi yang dilakukan, rumusan masalah, tujuan dan manfaat yang diperoleh dari penulisan, serta ruang lingkup atau batasan masalah Tugas Akhir. Adapun rincian sub-babnya sebagai berikut:

- 1.1 Latar Belakang
- 1.2 Rumusan Masalah
- 1.3 Tujuan
- 1.4 Manfaat
- 1.5 Ruang Lingkup

- BAB II: TINJAUAN PUSTAKA

Bab ini menjabarkan berbagai pustaka yang relevan dengan pokok bahasan studi. Adapun rincian sub-babnya sebagai berikut:

- 2.1 Proses Produksi dan Limbah Industri Batik
- 2.2 Karakteristik Air Limbah Industri Batik
- 2.3 Baku Mutu Air Limbah Industri Batik
- 2.4 Metode Pengolahan Air Limbah Batik
 - 2.4.1 Pengolahan Fisik
 - 2.4.1.1 Adsorpsi
 - 2.4.2 Pengolahan Kimia
 - 2.4.2.1 Koagulasi-flokulasi
 - 2.4.2.2 Elektrokoagulasi
 - 2.4.2.3 *Advanced Oxidation Processes* (AOPs)
 - 2.4.3 Pengolahan Biologis
 - 2.4.3.1 Proses Film Mikrobiologis (*Biofilm*)
 - 2.4.3.2 Sistem Lumpur Aktif (*Activated Sludge*)
 - 2.4.3.3 *Constructed wetlands* (CWs)

- BAB III: METODE PENULISAN

Bab ini menjabarkan berbagai tahapan penyusunan dan penulisan dari awal hingga akhir studi, beserta jenis pustaka yang digunakan untuk menunjang data.

- BAB IV: PEMBAHASAN

Pemaparan bahasan pada studi ini mencakup profil industri batik, kualitas air limbah industri batik, dampak buruk yang diakibatkan oleh air limbah industri batik, mekanisme penyisihan polutan pada pengolahan air limbah industri batik, serta penentuan metode pengolahan yang ideal dan sesuai dengan kebutuhan setiap studi kasus. Dari hasil analisis nantinya akan didapatkan ringkasan yang akan ditulis berdasarkan sistematika penulisan tugas akhir.

- BAB V: KESIMPULAN DAN SARAN

Bab ini menjabarkan kesimpulan dari penulisan hasil studi dan saran yang dapat digunakan sebagai rujukan.

3.3.5 Kesimpulan dan Saran

Setelah dilakukan semua tahapan, kemudian diambil kesimpulan dari hasil pengumpulan data dan analisis data yang menjawab rumusan masalah dan sesuai tujuan yaitu hasil kajian pustaka mengenai kualitas air limbah industri batik, pengolahan air limbah industri batik, serta penerapan pengolahan air limbah industri batik dengan metode pengolahan yang sesuai. Saran dapat digunakan sebagai rekomendasi untuk penelitian selanjutnya.

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

BAB IV PEMBAHASAN

4.1 Profil Industri Batik di Indonesia

Seiring dengan berjalannya waktu, perkembangan batik di Indonesia semakin cepat. Motif batik yang pada mulanya terbatas pada simbol-simbol tradisional Jawa, maupun spiritual, sekarang sudah berkembang menjadi motif-motif baru yang memiliki corak serta warna menarik. Batik sendiri telah diakui sebagai warisan budaya takbenda negara Indonesia oleh UNESCO pada 2 Oktober 2009, dan sejak saat itu batik semakin dikenal luas oleh masyarakat mancanegara dan membuat permintaan pasar batik terus meningkat. Kementerian Perindustrian mencatat, capaian ekspor batik pada tahun 2020 mencapai USD532,7 juta, dan selama periode triwulan I tahun 2021 mampu menembus USD157,8 juta. Adapun negara tujuan ekspor meliputi Amerika Serikat, Korea Selatan, Jerman, Jepang, dan Prancis (Martuti, et.al., 2020).

Industri batik terbagi menjadi skala usaha besar, sedang atau menengah, mikro, dan kecil. Adapun penggolongan industri berdasarkan jumlah orang yang terlibat tanpa memperhatikan penggunaan tenaga mesin sebagaimana nilai kapital yang dimiliki oleh industri tertentu.

- Industri besar adalah industri pengolahan dengan jumlah pekerja sebanyak 100 dan lebih orang,
- Industri sedang atau menengah adalah industri dengan jumlah pekerja 20 - 99 orang
- Industri kecil adalah industri pengolahan dengan jumlah pekerja 5 - 19 orang
- Industri mikro adalah industri pengolahan dengan pekerja 1 - 4 orang

(Badan Pusat Statistik, 2022)

Industri batik menjadi sektor andalan dalam pertumbuhan ekonomi nasional, termasuk yang banyak membuka lapangan kerja. Sebab, sektor yang didominasi oleh Industri Kecil dan Menengah (IKM) ini telah menyerap tenaga kerja sebanyak 200 ribu orang dari 47 ribu unit usaha yang telah tersebar di 101 sentra wilayah Indonesia. Industri batik dalam negeri semakin berdaya saing dan mampu menghasilkan batik-batik yang diminati pasar dengan harga yang terjangkau di setiap tingkatan pangsa pasar, serta dengan *profit* yang baik untuk pelaku usahanya (Kemenperin, 2020). Berdasarkan Siregar, et.al., (2020) status wilayah penghasil batik masih melekat pada Pulau Jawa. Delapan puluh tujuh persen industri batik di Indonesia tersebar di Jawa Barat (38,42%), Jawa Tengah (26,22%), Daerah Istimewa Yogyakarta (DIY) (19,52%), Jawa Timur (2,66%), Banten (0,23%), serta Daerah Khusus Ibukota (DKI) Jakarta (0,05%), sedangkan sisanya terdapat di luar Pulau Jawa dengan presentase terbanyak berada di Provinsi Jambi.

Tabel 4.1 Data Persebaran Industri Batik di Indonesia

No	Wilayah	Jumlah
1	Jawa Barat	18057
2	Jawa Tengah	12323
3	Daerah Istimewa Yogyakarta (DIY)	9174
4	Jawa Timur	1250
5	Banten	108
6	Daerah Khusus Ibukota (DKI) Jakarta	24
7	Luar Pulau Jawa	6063
Total		47000

Sumber: Hasil Analisis Perhitungan

4.2 Kualitas Air Limbah Industri Batik

Keberadaan industri batik tidak semata-mata memberikan dampak yang baik saja, karena selain menghasilkan kain batik sebagai produk yang diinginkan juga menimbulkan masalah lain yaitu hasil buangan limbah dengan kuantitas yang cukup besar khususnya air limbah. Menurut Purwaningsih (2008) kualitas air limbah industri batik sangat tergantung pada jenis proses yang dilakukan, namun pada umumnya bersifat basa dan memiliki kadar organik yang tinggi akibat dari sisa-sisa pematikan. Adapun tipikal air limbah industri batik dapat dilihat pada Tabel 4.2.

Tabel 4.2 Tipikal Air Limbah Industri Batik

Parameter	Avifah, 2019 (Pewarna Alami)	Ratih, et.al., 2016 (Pewarna Alami)	Agustina & Badewesta, 2009 (Pewarna Sintetis)	Nurlela, 2018 (Pewarna Sintetis)	Hidayat, et.al., 2021 (Pewarna Alami dan Sintetis)
BOD (mg/L)	-	1585	-	-	8651
COD (mg/L)	11484	4028	4230,37	255	54700
TSS (mg/L)	672	-	535	80,2	1483
Fenol (mg/L)	-	-	0,008	-	0,62
Krom (mg/L)	-	0,21	0,1385	2,3	<0,02
Amonia (mg/L)	4,35	-	5,47	-	1,44
Sulfida (mg/L)	-	-	0,04	-	0,06
Besi (mg/L)	-	1,02	2,0587	-	-
Tembaga (mg/L)	-	-	0,2696	-	-
Seng (mg/L)	-	-	54,7175	-	-
Kadmium (mg/L)	-	4,56	0,0063	-	-
Timbal (mg/L)	-	-	0,2439	-	-
Aluminium (mg/L)	-	3,431	-	-	-
Minyak dan Lemak (mg/L)	4,79	-	-	-	4,2
Kekeruhan (NTU)	193,5	-	-	-	-
pH	5,95	9	6 - 9	10,3	6,6
Warna (Pt-co)	20900	-	-	160,4	-

Banyak orang yang beranggapan bahwa air limbah batik dengan pewarna alami lebih baik daripada pewarna sintetis karena bersifat ramah lingkungan dan aman untuk digunakan, sebab zat-zat yang terkandung didalamnya dapat mudah terurai sehingga tidak menimbulkan pencemaran. Pernyataan ini perlu dipelajari secara hati-hati, mengetahui pewarna alam tersusun atas senyawa aromatis berdasar benzen yang merupakan senyawa organik dan relatif sulit

terombak (Ratih, 2014). Selain itu, proses produksi batik menggunakan pewarna alami juga memerlukan bahan pembantu proses yang biasanya berupa senyawa kimia sama seperti halnya dengan pewarna sintetis agar batik yang dihasilkan dapat berkualitas baik dan sesuai keinginan, sebagaimana pada proses pewarnaan yang membutuhkan bahan pembantu agar warna yang dihasilkan lebih tajam, serta tahan lama.

Tabel 4.2 merupakan tipikal air limbah batik berdasarkan jenis warna dari berbagai penelitian, data tersebut menunjukkan bahwa air limbah batik terdiri dari organik dan anorganik. Limbah organik sendiri berasal dari sisa hasil produksi yang umumnya mudah terurai secara alami, berbeda dengan limbah anorganik yang sukar terurai. Kontaminan organik yang terdapat dalam air limbah batik meliputi BOD, COD, fenol, minyak dan lemak, serta warna (terdapat yang *biodegradable* dan *non-biodegradable*). Sementara kontaminan anorganik meliputi amonia, sulfida, logam berat krom, besi, tembaga, seng, kadmium, timbal, aluminium, dan pH. Sedangkan TSS dan kekeruhan termasuk dalam kontaminan organik dan anorganik. Setiap industri batik memiliki nilai konsentrasi pencemar yang berbeda-beda, hal ini dapat terjadi karena penggunaan bahan pembantu selama proses produksi setiap industri tidak selalu sama, begitu pula dengan takaran bahan yang digunakan seperti pada proses penyempurnaan kain dengan *softener* dimana *softener* yang digunakan beraneka ragam dan memiliki komposisi berbeda. Dapat diketahui juga bahwa air limbah batik dengan pewarna alami maupun pewarna sintetis mengandung berbagai zat polutan yang tinggi serta bersifat toksik dan karsinogen.

Dampak pencemaran serius yang ditimbulkan air limbah dari proses produksi batik antara lain yaitu bau tidak sedap dan apabila dibuang ke badan air juga dapat merusak estetika karena membuat air berwarna keruh, serta berpotensi besar dalam membahayakan kelangsungan hidup biota air maupun manusia, mengetahui masih banyak manusia yang menggunakan air dari badan air terdekat untuk keperluan aktivitas sehari-harinya, seperti mandi, mencuci, maupun kebutuhan air minum. Dampak buruk yang diterima oleh badan manusia secara langsung antara lain gangguan pernapasan, penyakit kulit seperti iritasi, ruam, maupun kanker, dan lain sebagainya. Oleh karena itu, air limbah batik baik pewarna alami maupun pewarna sintetis perlu dilakukan pengolahan yang baik dan sesuai dahulu sebelum dibuang ke lingkungan.

Berbagai metode telah dikembangkan sebagai upaya untuk mengatasi permasalahan yang diakibatkan oleh industri batik, baik secara fisika, kimia maupun biologi. Dalam menentukan jenis pengolahan, perlu diketahui rasio BOD/COD yang merupakan indikator dampak *output* zat organik dalam air limbah. Adapun rasio BOD/COD dari air limbah berkisar antara 0.3 sampai 0.8. Hubungan antara BOD dan COD sendiri mempengaruhi proses pengolahan air limbah, dimana jika rasio BOD/COD ≥ 0.5 air limbah dapat diolah menggunakan proses biologi karena bersifat *easy biodegrade*. Sedangkan rasio BOD/COD < 0.3 tidak dapat diolah menggunakan proses biologis karena bersifat *low biodegrade* dan memungkinkan terdapat banyak senyawa racun yang dapat membunuh bakteri (Kurniawan, 2022).

Kontaminan seperti total padatan, partikel koloid, kekeruhan dalam air limbah batik dapat diolah dengan pengolahan fisik seperti sedimentasi, *screening*, adsorpsi, *grease trap*, maupun filtrasi. Kontaminan organik dalam air limbah dapat diolah menggunakan pengolahan biologis, seperti proses film mikrobiologis (*biofilm*), lumpur aktif (*activated sludge*), *constructed wetlands* (CWs). Sedangkan kontaminan anorganik dengan pengolahan kimia seperti koagulasi-flokulasi, oksidasi dan/atau reduksi, penukaran ion.

4.3 Mekanisme Penyisihan Polutan pada Metode Pengolahan Air Limbah Batik

4.3.1 Adsorpsi

Adsorpsi adalah fenomena fisik yang terjadi saat molekul-molekul gas atau cair (adsorbat) dikontakkan dengan suatu permukaan padatan (adsorben) dan sebagian dari molekul-molekul tadi mengembun pada permukaan padatan tersebut, adsorpsi sendiri termasuk tahap pengolahan tersier (Mihelcic, et.al., 1999; Rosydiena, 2015). Material adsorben dapat terbuat dari mineral non-organik, bahan organik sintetik dan bahan organik alami. Adsorben yang berasal dari material non organik memiliki tingkat daya apung dan daya serap yang relatif rendah terhadap polutan tertentu seperti minyak dan logam, sedangkan adsorben bekas pakai yang terbuat dari bahan sintesis cenderung mencemari lingkungan. Hal tersebut mendorong munculnya alternatif bahan dasar adsorben yang bersifat ramah terhadap lingkungan dengan tingkat ketersediaan yang stabil, ekonomis serta memiliki efisiensi yang tinggi, adsorben ini terbuat dari bahan organik termasuk bagian tanaman dan sisa hasil pertanian. Meskipun demikian, pemanfaatan bahan organik mentah tanpa melalui proses aktivasi menghasilkan tingkat penyerapan yang relatif terbatas, terutama untuk limbah industri yang mengandung tingkat polutan yang tinggi. Sehingga diperlukan berbagai metode aktivasi untuk meningkatkan kinerja adsorben tersebut dengan tujuan untuk meningkatkan persentase penurunan konsentrasi polutan sekaligus mencapai kapasitas adsorpsi optimum dari adsorben, termasuk dengan melakukan *chemical impregnation* dan *carbonization*. Salah satu proses aktivasi yang paling umum dilakukan untuk mengaktivasi material adsorben adalah karbonisasi pada temperatur tinggi yang dapat dimulai dari kisaran 200°C untuk menghasilkan karbon aktif (Martini et.al., 2020).

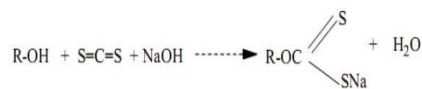
Dalam proses adsorpsi, terdapat berbagai jenis adsorben yang dapat digunakan antara lain *fly ash*, zeolit, karbon aktif, serbuk kayu, ampas kopi, dan sebagainya. Adapun faktor yang mempengaruhi laju dan kemampuan adsorpsi adalah luas permukaan adsorben, jumlah adsorben, jenis adsorbat, konsentrasi adsorbat, perlakuan pendahuluan terhadap adsorben, pH, kecepatan pengadukan dan waktu kontak (Maharani, 2017).

Rosydiena, et.al., (2015) melakukan penelitian dengan metode adsorpsi untuk pengolahan air limbah industri batik. Penelitian ini menggunakan zeolit sebagai adsorben karena dinilai lebih efektif dalam menyisihkan zat pencemar dalam air limbah dibandingkan karbon aktif, meski tidak dilakukan pengaktifan terlebih dahulu. Kebutuhan adsorben yang digunakan yakni menggunakan perbandingan adsorben dan air limbah sebesar 1:1, dimana dalam 1 liter air limbah dibutuhkan 1 kg zeolit untuk menurunkan parameter uji yang ditentukan. Prinsip kerja atau standar operasional alat adsorpsi ini yaitu dimulai dengan persiapan bahan baku (air limbah) yang dimasukkan ke dalam bak penampung, kemudian pompa air dinyalakan sehingga air limbah akan beresirkulasi selama *Empty Bed Contact Time* yang telah ditentukan yaitu selama 23 jam. Setelah 23 jam, air limbah akan dikeluarkan melalui kran *output*. Dalam satu siklus resirkulasi dibutuhkan waktu 1-1,5 menit, sehingga dalam 23 jam akan terjadi 1045-1314 kali siklus. Sampel air limbah yang digunakan memiliki kadar BOD 248,33 ; mg/L COD 290,00 mg/L ; TSS 3287,33 mg/L ; 12,47 Pt-co. Uji kinerja alat ini ditentukan melalui tiga kali ulangan untuk hasil limbah pewarnaan yaitu limbah pewarna coklat+kuning, biru, dan ungu dengan parameter penurunan terhadap BOD 58,27%; COD 53,31%; TSS 93,93%; dan Warna 62,98%. Penggunaan zeolit sebagai adsorben juga dilakukan Fitriyah, et.al., (2022) dengan hasil yang didapatkan yaitu efisiensi penyisihan TDS sebesar 38,97-69,5%; TSS 90,8-93,9%.

Rochma & Titah (2017) menggunakan adsorben karbon aktif batu bara untuk proses adsorpsi secara *batch*. Dalam penggunaan karbon aktif sebagai adsorben, masa pakainya harus diperhatikan, hal ini karena penggunaan karbon aktif yang sudah dalam keadaan jenuh (*saturated*) akibat pemakaian yang terus menerus dapat mengakibatkan berkembang-biaknya

mikroorganisme yang telah terperangkap dalam media karbon seperti berbagai jenis senyawa patogen (Martini, et.al., 2020). Perlakuan awal yang dilakukan pada percobaan ini yaitu karbon diaktivasi terlebih dahulu, hal ini bertujuan untuk mengoptimalkan kinerja adsorben selama proses adsorpsi. Aktivator yang digunakan adalah larutan kimia asam kuat-HCL. Penelitian ini menggunakan dua jenis variasi, yaitu dosis adsorben dan waktu kontak. Adapun dosis adsorben yang digunakan yakni 86 gram, 190 gram, dan 278 gram, sedangkan waktu kontak adalah 2,5 jam dan 5 jam. Berdasarkan proses adsorpsi yang dilakukan, efisiensi penyisihan COD terbesar adalah 16.444,08 mg/L dengan persentase penyisihan sebesar 98,74 % pada waktu kontak 2,5 jam. Sedangkan efisiensi penyisihan BOD terbesar adalah 1.640,70 mg/L dengan persentase penyisihan sebesar 92,30 % pada waktu kontak 2,5 jam. Jumlah adsorben yang menghasilkan nilai efisiensi penyisihan tersebut adalah sebesar 190 gram. Hasil analisis *Scanning Electron Microscope* (SEM) menunjukkan bahwa pori-pori yang mulanya masih kosong telah tertutupi oleh adsorbat yang teradsorpsi. Sama halnya dengan penelitian Saptarini (2009) yang menggunakan karbon aktif sebagai adsorben untuk proses adsorpsi menunjukkan bahwa parameter pencemar BOD, COD, dan warna dalam air limbah batik mampu tersisihkan secara berturut-turut sebanyak 94,58%; 92,55 % dan 98,88 %.

Adsorben organik atau biosorben juga terbukti mampu menyisihkan zat pencemar dalam air limbah batik, kebanyakan biosorben terbuat dari bahan yang memiliki pori-pori banyak sehingga proses adsorpsi dapat terjadi pada dinding pori-pori biosorben tersebut. Biosorben sering dimanfaatkan pada skala industri sebagai proses pemurnian (purifikasi), pemisahan gas atau cairan dan juga sebagai katalis (Purwaningsih, 2021). Seperti penelitian yang dilakukan oleh Riwayati, et.al., (2014) menunjukkan bahwa biosorben pulpa kopi terxanthasi dapat menurunkan konsentrasi logam berat pada air limbah batik pewarna sintetis. Senyawa xanthate sendiri dibuat dengan mereaksikan substrat yang mengandung gugus hidroksil dengan karbon bisulfida dalam suasana basa. Reaksi xanthasi disajikan pada Gambar 4.1.



Gambar 4.1 Reaksi Xanthasi

Adsorpsi ion logam berat ke dalam permukaan senyawa xanthate dapat dianggap sebagai proses pertukaran ion, pembentukan kompleks dan atau proses pembentukan *chelate*. Melalui proses pertukaran ion, dua atom sulfur yang bermuatan negatif pada senyawa xanthate akan menangkap ion logam bervalensi dua. Sedangkan pada proses pembentukan kompleks melibatkan empat atom sulfur dan satu ion logam bervalensi dua. Kadar logam berat yang terkandung pada sampel yaitu timbal sebesar 0,213 ppm dan kadmium 0,068 ppm. Dari hasil percobaan, persen adsorpsi turun pada pH yang lebih tinggi, hal ini disebabkan oleh semakin kecilnya kelarutan logam sehingga memungkinkan terjadinya pengendapan larutan. Proses adsorpsi logam berat dapat bersifat eksotermis atau endotermis, jika kapasitas adsorpsi meningkat seiring peningkatan suhu maka adsorpsi bersifat endotermis dan jika sebaliknya maka bersifat eksotermis.

Adsorpsi terjadi melalui dua fase tahapan. Tahap pertama merupakan fase cepat, dan yang kedua merupakan fase lambat. Fase cepat terjadi sehubungan dengan (banyak) tersedianya tempat aktif yaitu tempat terjadinya ikatan pada permukaan adsorben. Fase lambat dengan penambahan waktu kontak tidak memberikan prosen adsorpsi yang signifikan, hal ini karena terjadi proses difusi ion logam ke bagian yang lebih dalam dari biosorben. Percobaan optimasi memperoleh hasil pH optimum sebesar 2, suhu maksimum pada 40 °C, waktu kontak

maksimum 24 jam dan berat maksimum adsorben 100 g. Efisiensi penurunan kadar logam berat percobaan ini masing-masing 68,18% untuk timbal dan 76,1% untuk kadmium dengan kapasitas adsorpsi berturut-turut 0,029 dan 0,00198 mgr ion logam/gr adsorben.

Sedangkan pada penelitian Purwaningsih, et.al., (2021) biosorben yang digunakan adalah cangkang telur ayam. Tahapan pelaksanaan pada penelitian ini yaitu preparasi biosorben, aktivasi biosorben, proses biosorpsi. Biosorben yang digunakan dioven dengan suhu 105°C, dihaluskan hingga ukuran 40 mesh, diaktivasi dengan H₂SO₄ 0,05 M kemudian ditambahkan sebanyak 3, 4, 5, 6, 7% (w/w) ke dalam air limbah, selanjutnya proses pengadukan 130 rpm dengan variasi lama waktu kontak 60, 90, dan 120 menit. Filtrat yang dihasilkan dianalisa untuk mengetahui intensitas zat warna, COD, pH. Dari penelitian yang dilakukan didapatkan massa optimal penambahan biosorben 5%, dengan removal COD 87% pada waktu 60 menit. Biosorben lainnya yang dapat digunakan adalah kitosan murni dengan efisiensi penyisihan logam berat krom sebesar 71,82% dan limbah udang windu sebesar 52,28% (Natalina & Firdaus, 2017).

Kelebihan dari metode adsorpsi antara lain adsorben merupakan bahan yang mudah ditemui di toko bahan pada pengolahan air minum atau air limbah, harga adsorben yang cukup ekonomis dan dapat digunakan berulang kali hingga batas maksimal pemakaiannya, pengoperasiannya mudah, tidak memerlukan lahan yang luas untuk meletakkan reaktor pengolahannya, desain alat yang sederhana, biaya perawatan relatif terjangkau serta ketidakpekaan terhadap polutan beracun sehingga tidak mengakibatkan pembentukan zat berbahaya. Adapun kekurangannya antara lain perlu regenerasi adsorben, mampu me-*removal* dengan kondisi influen yang rendah (Maharani, 2017; Rochma & titah, 2017; Sugiharto, et.al., 2020).

4.3.2 Koagulasi-flokulasi

Proses koagulasi dilakukan dengan penambahan koagulan yang berfungsi untuk mengikat partikel koloid dalam limbah cair. Partikel dalam koagulan memiliki muatan yang berlawanan dengan partikel koloid, sehingga mampu membentuk ikatan berupa gumpalan/flok. Pengadukan cepat diperlukan dalam proses koagulasi untuk mempercepat terdistribusinya koagulan sehingga dapat bereaksi dengan partikel koloid membentuk flok. Faktor-faktor yang mempengaruhi efektifitas proses koagulasi adalah karakteristik limbah berupa pH, suhu, tingkat kekeruhan, jenis dan dosis koagulan, serta kecepatan dan lama pengadukan. Proses flokulasi, merupakan proses terbentuknya flok dilanjutkan dengan penggabungan flok yang terbentuk menjadi berukuran lebih besar, sehingga mudah diendapkan. Pengadukan lambat diperlukan dalam proses flokulasi untuk membantu proses penggabungan partikel koloid dengan partikel koagulan menjadi flok yang mudah diendapkan. Pembentukan flok dalam flokulasi mengalami empat tahap meliputi tahap destabilisasi partikel koloid, tahap pembentukan partikel koloid, tahap penggabungan mikro flok dan tahap pembentukan makro flok. Koagulan yang digunakan dapat berupa koagulan alami maupun sintetis. Pengolahan air limbah batik menggunakan koagulan melalui proses koagulasi dan flokulasi dapat diterapkan untuk Instalasi Pengolahan Air Limbah (IPAL) skala individu pada industri batik rumah tangga (Radityaningrum & Caroline, 2017).

Radityaningrum & Caroline (2017) melakukan penelitian mengenai pengolahan air limbah batik menggunakan koagulasi-flokulasi dengan koagulan PAC aliran *downflow* secara *batch*. Adapun karakteristik air limbah batik yang digunakan memiliki kandungan pH 7.3, TSS 1200 mg/L, BOD₅ 211,4 mg/L, dan COD 352,3 mg/L. PAC sendiri merupakan salah satu jenis koagulan yang berasal dari bahan kimia dan termasuk jenis koagulan polimer kationik. PAC lebih cepat membentuk flok daripada koagulan biasa, sebab memiliki muatan listrik positif yang tinggi sehingga dapat dengan mudah menetralkan muatan listrik pada permukaan koloid dan

dapat mengatasi serta mengurangi gaya tolak menolak elektrostatis antar partikel sampai sekecil mungkin, sebab itu memungkinkan partikel-partikel koloid tersebut saling mendekat (gaya tarik menarik kovalen) dan membentuk gumpalan atau massa yang lebih besar (Ningrum & Nurhadi, 2018). Perlakuan awal yang dilakukan adalah dengan proses *jar test* menggunakan koagulan PAC untuk mengetahui dosis optimum koagulan. *Jar test* dilakukan dengan pengadukan cepat 100 rpm selama 1 menit dan pengadukan lambat 60 rpm selama 15 menit. Variasi dosis PAC yang ditambahkan dalam *jar test* adalah 15 mg/L, 20 mg/L, 25 mg/L, 30 mg/L, 35 mg/L, 40 mg/L. Berdasarkan uji yang telah dilakukan, dosis optimum koagulan PAC untuk proses koagulasi adalah 25 mg/L. Penambahan dosis koagulan mempengaruhi performa hasil pengolahan dari koagulasi flokulasi, oleh karena itu diperlukan penambahan dosis koagulan yang sesuai berdasarkan nilai dosis optimum. Pengamatan parameter uji COD, BOD₅ dan TSS hasil pengolahan dilakukan pada jam ke-3 (waktu detensi 3 jam) dan jam ke-6 (waktu detensi 6 jam) selama 3 hari. Proses koagulasi flokulasi pada hari ke-3 waktu detensi 3 jam menghasilkan penurunan konsentrasi COD, BOD₅ dan TSS terbaik secara berturut-turut sebesar 71,61% , 72,1% dan 91,42%.

Rusydi, et.al., (2017) mengolah air limbah industri batik melalui proses koagulasi-flokulasi dengan menggunakan lempung sebagai penyumbang partikel tersuspensi. Pengolahan dilakukan menggunakan sistem *batch* dengan menambahkan bahan kimia ke dalam 500 mL air limbah pada gelas beker berukuran 1000 mL. Bahan kimia yang ditambahkan adalah kaporit, kapur (CaO), lempung, dan tawas. Bahan kimia kaporit, kapur, dan tawas merupakan bahan-bahan yang ditemukan di pasaran dan dapat langsung digunakan dalam proses koagulasi-flokulasi. Sementara lempung merupakan bahan alami yang harus diproses sebelum ditambahkan ke dalam air limbah. Proses penyiapan lempung dilakukan dengan pengeringan dalam oven pada suhu 100 – 105°C, kemudian ditumbuk, dan diayak pada ayakan yang lolos pada ukuran 100 mesh (-100 mesh). Selanjutnya, dilakukan analisis fisik lempung. Hal ini penting karena keberhasilan lempung dalam memperkaya kandungan partikel-partikel tersuspensi tergantung pada kandungan debu dan liat. Semakin banyak kandungan debu dan liat, maka lempung akan semakin membantu dalam memperkaya partikel-partikel tersuspensi dalam air limbah karena limbah yang diolah secara fisik terlihat bening (miskin partikel tersuspensi). Percobaan ini diawali dengan penambahan kaporit dan kapur, kaporit sendiri berguna untuk memutus ikat rangkap pada gugus fungsi zat warna sehingga terjadi addisi oleh Cl₂ dari kaporit, sedangkan kapur untuk menaikkan nilai pH karena kondisi basa akan mengoptimalkan fungsi koagulan tawas, kemudian tanah lempung, dan yang terakhir penambahan tawas sebagai koagulan untuk mengikat partikel-partikel tersuspensi yang berasal dari penambahan lempung sehingga terjadi proses koagulasi-flokulasi. Penambahan 2 g kaporit; 0.3 g kapur; 1 g lempung; dan 1 g tawas ke dalam 500 ml air limbah, pada pengadukan 200 rpm selama 2 menit, berhasil menurunkan COD sebesar 79% yakni dari 615 mg/L menjadi 130 mg/L, dan warna sebesar 99% yakni dari 7000 PCU menjadi 45 PCU.

Berdasarkan Sari & Nugraha (2017) pengolahan menggunakan PAC sebagai koagulan dan *montmorillonit-polyDADMAC* (*organoclay*) sebagai flokulan mampu menurunkan kadar polutan TSS dan TDS. *Organoclay* disintesis dengan mereaksikan bentonit alam dan poliDADMAC 0,4%. Koagulasi dan flokulasi dilakukan menggunakan metode *jar test* dengan kecepatan pengadukan 120 rpm selama 2 menit dan pengadukan lambat 40 rpm dengan variasi jenis dan massa flokulan, serta waktu flokulasi. Pada awalnya air limbah memiliki kadar TSS dan TDS yang tinggi yaitu 7145 mg/L dan 8080 mg/L. Setelah dilakukan pengolahan dengan koagulasi-flokulasi ini kadarnya berkurang hingga memenuhi baku mutu yang berlaku. Adapun efektivitas maksimum penurunan TSS adalah sebesar 99,74% dengan penambahan *organoclay* flokulan 2,5 g/L dan waktu flokulasi selama 80 menit, sedangkan efektivitas maksimum

penurunan TDS sebesar 93,57% dengan penambahan flokulan *organoclay* 2,5 g/L dan flokulasi 60 menit.

Nilasari, et.al., (2020) menggunakan dua jenis koagulan untuk mengolah air limbah batik, adapun yang digunakan merupakan koagulan alami dan koagulan kimia. Koagulan alami yang dipakai dalam penelitian ini adalah biji asam jawa, sedangkan koagulan kimia yang dipakai adalah FeSO_4 dan FeCl_3 . Air limbah yang digunakan memiliki kandungan COD sebesar 4136,3 mg/L, TDS 9150 mg/L, TSS 1038 mg/L, dan warna 7310 Pt-co. Pada proses pengolahan limbah cair batik menggunakan koagulan baik itu FeSO_4 , FeCl_3 , maupun biji asam jawa, waktu pengadukan lambat (flokulasi) yang optimum tercapai dengan pertumbuhan flok sudah mencapai titik maksimalnya yaitu saat ukuran partikel sudah maksimum dan cukup untuk mengendap. Waktu pengadukan optimum koagulan FeSO_4 pada penurunan COD yaitu menit ke 20 dengan presentase penurunan 70%, penurunan TDS pada menit ke 25 dengan presentase penurunan 86%, penurunan TSS pada menit ke 5 dengan presentase penurunan 96%, dan penurunan parameter warna pada menit ke 10 dengan presentase penurunan 96%.

Pada proses pengolahan limbah cair batik menggunakan koagulan FeCl_3 , penurunan parameter COD didapatkan waktu pengadukan optimum pada menit ke 5 yaitu 88%, penurunan parameter TDS didapatkan waktu pengadukan optimum pada menit ke 10 dengan presentase penurunan 23%, penurunan parameter TSS didapatkan waktu pengadukan optimum pada menit ke 10 dan 25 dengan presentase penurunan 99,9%, dan penurunan parameter warna didapatkan waktu pengadukan optimum pada menit ke 25 dengan presentase penurunan 99,9%. Sedangkan proses pengolahan limbah cair batik menggunakan koagulan biji asam jawa, penurunan parameter COD didapatkan waktu pengadukan optimum pada menit ke 20 dengan presentase penurunan 40%, penurunan parameter TDS didapatkan waktu pengadukan optimum pada menit ke 20 dengan presentase penurunan 55%, penurunan parameter TSS didapatkan waktu pengadukan optimum pada menit ke 10 dengan presentase penurunan 93%, dan penurunan parameter warna didapatkan waktu pengadukan optimum pada menit ke 10 dengan presentase penurunan 69%. Diketahui bahwa koagulan yang paling efektif untuk menyisihkan zat pencemar pada pengolahan ini adalah FeCl_3 .

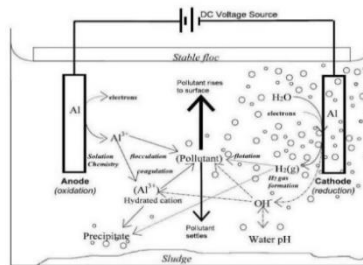
Saptarini (2009) menggunakan tawas dan kapur sebagai koagulan-flokulan dengan variasi dosis 1, 2, 3, 4, dan 5 g/L untuk tawas dan 15, 20, 25, dan 30 g/L untuk kapur. Pengadukan dilakukan dengan kecepatan 200 rpm dan waktu pengadukan 10 menit. Adapun hasil yang diperoleh dari penelitian ini yaitu proses koagulasi-flokulasi mampu menyisihkan polutan TSS sebesar 88,75%, TDS 93,66% serta kekeruhan 97,94%. Sementara Fitriyah, et.al., (2022) menggunakan tawas sebagai koagulan dengan hasil efisiensi penyisihan yang diperoleh yaitu TDS sebesar 8,2-45,8%; TSS 70,7-95,4%; zat warna 43,1-71,91%.

Kelebihan dari metode ini yaitu air hasil pengolahan cenderung lebih jernih dibanding pengolahan lainnya, dapat mengurangi turbiditas, serta kadar BOD dan COD pada air, lumpur yang dihasilkan cenderung dalam bentuk gumpalan besar karena adanya proses flokulasi, sehingga akan lebih mudah dalam mengendapkannya. Sedangkan kekurangannya yaitu biaya yang dibutuhkan cenderung lebih tinggi dibandingkan pengolahan fisik karena dibutuhkannya zat kimia (koagulan) dan energi listrik untuk pengaduk, serta diperlukan Sumber Daya Manusia (SDM) / operator yang memadai di bidang proses kimia (Almira, 2018).

4.3.3 Elektrokoagulasi

Elektrokoagulasi atau disebut juga elektroflotasi merupakan suatu proses mengolah limbah berupa cairan atau air baku dengan mengalirkan arus pada logam besi ataupun aluminium sebagai elektroda. Prinsip dasar elektrokoagulasi merupakan respon reduksi dan oksidasi (redoks), dimana peristiwa reduksi terjalin di katoda sedangkan oksidasi terjalin di

anoda. Ion negatif (anion) bergerak ke anoda dan menyerahkan elektron yang dioksidasi, sedangkan ion positif (kation) bergerak ke katoda dan menerima elektron yang direduksi. Mekanisme elektrokoagulasi dapat berlangsung jika dua elektroda ditempatkan dalam elektrolit dan arus searah maka akan muncul peristiwa elektrokimia, yaitu gejala mengurainya elektrolit, dimana ion positif (kation) bergerak ke katoda serta mendapatkan elektron yang direduksi oleh ion negatif (anion). Elektron yang dioksidasi kemudian diserahkan oleh kation ke anoda. Buih dan gas bergelembung akan dihasilkan dari anoda. Pada limbah yang tidak stabil, gas yang terbentuk akan bergabung dengan partikel-partikel koloid. Hal ini memberikan dorongan pada partikel-partikel koloid yang tidak stabil untuk naik ke permukaan. Pengendapan akan terjadi setelah flok yang terbentuk mempunyai ukuran relatif kecil tersebut semakin lama semakin membesar. Kemampuan suatu elektroda untuk mengelektrolisis mendapatkan pengaruh dari berbagai faktor, antara lain jenis plat elektroda, kuat tegangan, kuat arus listrik, waktu kontak, kadar keasaman (pH), jarak antar elektroda, suhu (Devy & Haryanto, 2021). Mekanisme proses elektrokoagulasi dapat dilihat pada Gambar 4.2.



Gambar 4.2 Mekanisme di dalam Elektrokoagulasi

Sumber: Holt, 2002

Devy & Haryanto (2021) mengolah limbah batik dengan rangkaian alat elektrokoagulasi. Percobaan ini dilakukan dengan pengaruh beda potensial 3 volt, 4,5 volt, 7,5 volt, 9 volt, dan 12 volt dan waktu kontak 15 menit, 20 menit, 25 menit, 30 menit, dan 35 menit. Kondisi optimal diperoleh pada beda potensial 12 volt selama 35 menit dengan efisiensi penurunan COD sebesar 84,84% dan 91% untuk TSS. Presentase efisiensi penurunan pencemar tersebut tidak jauh berbeda dengan penelitian Zuhria & Prasetyo (2018) yang menunjukkan bahwa plat aluminium sebagai elektroda mampu menyisihkan kadar TSS sebesar 85,71%, BOD 7,02% , dan COD 92,18%.

Avifah (2019) melakukan percobaan elektrokoagulasi dengan elektroda aluminium secara *batch* untuk mengolah air limbah batik pewarna alami. Sampel air limbah yang digunakan memiliki karakteristik antara lain pH 5.95, warna 12 650 PtCo, kekeruhan 59 NTU, TSS 253.5 mg/L, amonia 1.57 mg/L, COD 633.5 mg/L dan minyak dan lemak 0.25 mg/L. Pada proses ini, nilai pH air limbah mengalami peningkatan. Hal ini disebabkan karena adanya pelepasan jumlah ion OH⁻ yang lebih besar dari ion H⁺ selama proses elektrokoagulasi berlangsung sehingga adanya akumulasi ion OH⁻ yang dapat meningkatkan nilai pH. Konsentrasi ion OH⁻ mengindikasikan kebasaaan dari suatu larutan, ion OH⁻ yang terbentuk pada proses elektrokoagulasi ini berasal dari reaksi reduksi air pada katoda. Adapun nilai pH yang semula bernilai 5.9 meningkat menjadi 6.7. Efisiensi penyisihan yang diperoleh pada masing-masing parameter pencemar berturut-turut adalah 39.47% ; 69.43% ; 62.28% ; 63.91% ; 94.48% ; 94.78%.

Yunitasari, et.al., (2017) juga menggunakan plat aluminium sebagai elektroda dalam pengolahan air limbah batik dengan elektrokoagulasi. Adapun karakteristik air limbah yang digunakan memiliki kandungan TSS sebesar 3247 mg/L dan pH 8,6. Hasil penelitian menunjukkan bahwa tegangan dan waktu kontak pada proses elektrokoagulasi memberikan pengaruh dalam menurunkan konsentrasi TSS. Semakin besar tegangan dan semakin lama waktu kontak maka efisiensi penyisihan TSS semakin besar. Hal ini disebabkan karena tegangan yang semakin besar akan memberikan potensial urai pada elektroda Al untuk melepas Al^{3+} semakin besar, sehingga flok $Al(OH)_3$ juga semakin besar, banyaknya $Al(OH)_3$ yang terbentuk dapat mengikat polutan yang lebih banyak pula. Pengaruh waktu pada metode elektrokoagulasi ini adalah semakin lama waktu kontak dalam proses elektrokoagulasi, maka semakin banyak Al^{3+} yang dihasilkan dan semakin banyak $Al(OH)_3$ yang terbentuk sehingga dapat mengikat polutan lebih banyak. Efisiensi penyisihan TSS yang didapatkan adalah 99,11%. Sedangkan nilai pH setelah proses elektrokoagulasi lebih besar dari nilai pH sebelum dilakukan pengolahan dengan proses elektrokoagulasi, seperti halnya dengan penelitian Avifah (2019), adapun nilai pH akhir yang didapatkan dari proses pengolahan ini adalah 11,2 mg/L.

Berdasarkan penelitian Saraswati (2020) metode elektrokoagulasi dengan Al/Cu sebagai elektroda mampu menurunkan kadar pencemar organik COD dan logam berat timbal (Pb). Pada penelitian ini diperoleh hasil dari proses elektrokoagulasi dengan variasi waktu dan tegangan yang digunakan. Adapun variasi waktunya adalah 30, 60, 90, dan 120 menit, sedangkan tegangannya 5, 10, 15, dan 20 volt. Setelah perlakuan elektrokoagulasi, terdapat endapan yang terbentuk diatas cairan berupa campuran padatan dan busa. Hal ini terjadi karena katoda bermuatan negatif menarik kation-kation yang akan tereduksi dan membentuk endapan. Selain terbentuknya flokulan, air limbah juga mengalami perubahan warna menjadi lebih jernih. Efisiensi maksimum yang diperoleh untuk mereduksi COD dan Pb yaitu pada waktu kontak 120 menit dan 20 volt dengan nilai sebesar 83,87% ; 83,65%. Berdasarkan Mutiara (2009) elektrokoagulasi dengan variasi jumlah lempeng besi mampu menyisihkan zat pencemar BOD mencapai 63,28%, COD 64,8% dan TSS 63,3%. Sedangkan menurut Enjarlis, et.al., (2019) elektrokoagulasi mampu menyisihkan polutan COD sebesar 54% dan TSS 50%.

Kelebihan elektrokoagulasi adalah peralatannya sederhana dan mudah dioperasikan, menghasilkan efluen yang jernih, tidak berwarna maupun berbau, flok yang terbentuk serupa dengan koagulasi kimia. Flok yang berukuran besar dengan kandungan air sedikit bersifat lebih stabil dan mudah dipisahkan melalui filtrasi, serta lebih cepat mereduksi kandungan koloid yang paling kecil. Hal ini disebabkan penggunaan medan listrik dalam air untuk meningkatkan pergerakan ke arah proses koagulasi. *Total Dissolved Solid* (TDS) yang terkandung pada efluen dari proses elektrokoagulasi lebih sedikit dibandingkan dengan pengolahan kimiawi lainnya, sehingga akan mengurangi biaya *recovery*. Kelebihan lain dari proses elektrokoagulasi yaitu tidak memerlukan bahan kimia sehingga tidak bermasalah dengan netralisasi, polutan mudah dibersihkan karena dapat dibawa ke permukaan air oleh gelembung gas yang dihasilkan pada proses ini, tidak dipengaruhi oleh temperatur sehingga dapat memberikan efisiensi proses yang cukup tinggi untuk berbagai kondisi, menggunakan sel elektrolisis yang tidak bergerak sehingga pemeliharaannya lebih mudah. Sedangkan kelemahan proses ini antara lain tidak dapat digunakan untuk mengolah limbah cair yang bersifat elektrolit tinggi dikarenakan akan terjadi hubungan singkat antar elektroda, besarnya reduksi logam berat dalam limbah cair dipengaruhi oleh besar kecilnya arus voltase listrik searah pada elektroda, luas bidang kontak elektroda dan jarak antar elektroda sempit, elektroda yang digunakan dalam proses elektrokoagulasi harus diganti secara teratur agar tidak mengalami korosi, terbentuknya lapisan di elektroda dapat mengurangi efisiensi pengolahan (Firdaus, et.al., 2020).

4.3.4 *Advanced Oxidation Processes (AOPs)*

Metode ini berbasis pada proses oksidasi terhadap kontaminan oleh oksidator kuat seperti radikal hidroksil ($\cdot\text{OH}$) yang merupakan sebuah radikal bebas dengan energi potensial sangat tinggi (2,8 V), sehingga mudah bereaksi untuk mengoksidasi polutan menjadi CO_2 dan H_2O (Fauzi & Tuhu, 2018) dalam menyisihkan polutan, metode ini dapat melakukannya secara cepat dan tidak selektif. AOPs mencakup berbagai macam metode alternatif basis reaksi dengan kombinasi proses yang berbeda seperti ozonasi, hidrogen peroksida, sinar UV (Ultra Violet), titanium oksida, fotokatalis serta beberapa proses lainnya untuk menghasilkan radikal aktif hidroksil (OH). Radikal aktif tersebut mudah bereaksi dengan senyawa organik apa saja tanpa terkecuali, terutama senyawa-senyawa organik yang selama ini sulit atau tidak dapat diuraikan dengan metode mikrobiologi maupun membran filtrasi. Usia pakai (lifetime) dari OH bergantung pada konsentrasinya. Sebagai contoh, konsentrasi OH sebesar $1 \mu\text{M}$, maka usianya sekitar $200 \mu\text{s}$. Kecepatan reaksi antara OH dengan senyawa organik atau non-organik adalah sekitar $10^7 - 10^{10} \text{ M}^{-1} \text{ s}^{-1}$ (Firdaus, et.al., 2020; Lagan, et.al, 2017).

Fauzi & Tuhu (2018) menggunakan proses kombinasi fenton dan fotokatalis dengan katalis TiO_2 sebagai alternatif pengolahan air limbah batik. Proses degradasi polutan menggunakan metode fotokatalisis (photocatalytic degradation) sangat efektif untuk merusak stabilitas senyawa polutan organik dan non-organik pada temperatur dan tekanan ambien, dimana reaksi fotokatalitik merupakan proses interaksi antar photon yang memiliki panjang gelombang yang berkesesuaian dengan partikel semikonduktor. Dengan kata lain, apabila proses fotokatalisis berlangsung pada kondisi operasi yang mendukung termasuk kandungan katalis, pH, konsentrasi oksidan, dan intensitas sinar (light intensity) yang optimum, maka proses mineralisasi polutan organik dan non-organik menjadi senyawa CO_2 dan H_2O dapat menghasilkan air hasil olahan yang lebih baik. Proses fotokatalitik dapat berlangsung secara heterogeneous dan homogeneous dimana masing-masing tipe terkait dengan kondisi fase dari reaktan dan katalis, keduanya tergolong sangat efektif untuk mengeliminasi polutan organik seperti phenol, chlorophenols, dan asam oksalat serta polutan non-organik seperti logam berat yang terkandung dalam beberapa limbah industri (Martini, 2020).

Proses fenton didasarkan pada perpindahan elektron H_2O_2 dan aktivitas Fe^{2+} sebagai katalis homogen. Sedangkan proses oksidasinya, didasarkan pada campuran hidrogen peroksida (H_2O_2) dan garam besi ($\text{Fe}[\text{II}]$) untuk menghasilkan radikal hidroksil ($\cdot\text{OH}$) pada pH asam, radikal hidroksil ini bereaksi dengan cepat dalam lingkungan air. Fotokatalis dengan titanium dioksida (TiO_2) didefinisikan sebagai proses reaksi kimia yang didasarkan pada pembentukan pasangan electron-hole (e^-/h^+). Semikonduktor TiO_2 memiliki tingkat efektifitas yang relatif stabil dan lebih tinggi dari sisi keamanan, resistensi terhadap ancaman fenomena photo corrosion, efisiensi katalis, pertimbangan ekonomis serta kemampuan untuk menyerap radiasi yang memiliki panjang gelombang dibawah 400 nm. TiO_2 cukup potensial dalam menangani limbah zat pewarna. Penggunaan kombinasi fenton dan fotokatalis TiO_2 menyebabkan OH radikal yang diproduksi semakin banyak, sehingga dapat menurunkan kadar warna, COD, TSS dengan efisiensi yang optimum dan waktu yang singkat (Fauzi & Tuhu, 2018; Martini, 2020). Rasio perbandingan $\text{H}_2\text{O}_2:\text{FeSO}_4$ yang digunakan untuk proses fenton dan fotokatalis adalah 10:0,10 , 10:0,15 , 10:0,2 , 10:0,25 , 10:0,30. Hasil yang diperoleh menunjukkan bahwa penyisihan pencemar terbaik terjadi pada perbandingan rasio molar 10:0,25. Hal ini membuktikan bahwa penambahan perbandingan molar FeSO_4 akan mempercepat reaksi sehingga dapat meningkatkan persen penyisihan. Perbandingan rasio molar FeSO_4 yang terlalu

tinggi akan menyebabkan ion besi terlarut dan menurunkan persen penyisihan warna, tetapi jika perbandingan rasio molar FeSO_4 terlalu rendah akan berakibat self saving OH, sehingga perbandingan rasio molar $\text{H}_2\text{O}_2:\text{FeSO}_4$ harus dalam keadaan yang seimbang. Proses kombinasi pengolahan oksidasi tingkat lanjut (Fenton – Fotokatalis) dapat meningkatkan persen penyisihan COD, TSS dan warna. Efisiensi penyisihan COD pada proses fenton meningkat sebesar 6,7%, TSS 4,8% dan warna 3,1%. Sedangkan pada proses fotokatalis dapat meningkatkan persen penyisihan COD sebesar 51,8%, TSS 49,1% dan warna 27,8%. Sementara kombinasi proses antara keduanya menghasilkan efisiensi pengolahan COD 83,3%, TSS 92,5%, dan warna 84,6% (Fauzi & Tuhi, 2018). Adapun metode lainnya yang dapat diterapkan antara lain ozonasi dan ionisasi, berdasarkan Utami, et.al., (2019) proses pengolahan dengan ozonasi mampu menyisihkan parameter BOD sebesar 73,29% dan warna 24,51%. Sedangkan untuk proses pengolahan ionisasi mampu menyisihkan BOD sebesar 79,38% dan warna 19,41%. Sementara kombinasi proses ozonasi-ionisasi memiliki efisiensi penyisihan BOD 80,75% dan warna 20,61%.

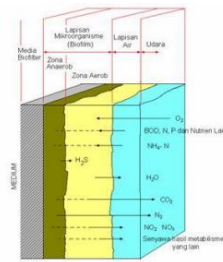
Metode AOPs berbasis Ozon-GAC juga dinilai efektif untuk pengolahan air limbah batik, seperti yang dilakukan Ayuningtyas, (2020). Penelitian ini dilakukan melalui 3 tahap, pertama air limbah dilakukan karakterisasi meliputi pH, kadar warna, dan fenol. Kemudian dilanjutkan proses ozonisasi dengan optimasi waktu kontak, dan proses adsorpsi menggunakan limbah hasil pengolahan dari proses ozonisasi dengan optimasi massa karbon aktif yang digunakan. Sampel air limbah memiliki kandungan zat warna sebesar 15.000 Pt-co, pH 8, dan fenol 0,099 mg/L. Hasil yang diperoleh menunjukkan bahwa semakin lamanya waktu kontak proses ozonasi maka oksidator ozon terlarut dan radikal (OH, O, dan O_2) yang terbentuk akan semakin banyak, sehingga dapat mereduksi zat warna dan fenol secara efektif. Begitu juga dengan penggunaan massa adsorben, semakin banyak massa adsorben yang digunakan maka semakin tinggi pula tingkat efisiennya. Hal ini dikarenakan dengan meningkatnya massa adsorben maka luas permukaan adsorben semakin besar sehingga banyak zat warna dan fenol yang teradsorp. Metode AOPs berbasis O_3/GAC termasuk ozonisasi katalik heterogen dan Granular Activated Carbon (GAC) berfungsi sebagai katalis padat yang mempercepat terbentuknya senyawa radikal. Hal ini dapat dijelaskan dalam teknik ozonasi-adsorpsi, bahwa karbon aktif tak hanya bertindak sebagai adsorben melainkan juga sebagai katalis dalam meningkatkan reaksi oksidasi ozon. Sehingga teknik ini dapat mendegradasi senyawa polutan dalam air limbah lebih cepat dan efisien. Penurunan kadar warna serta fenol pada metode AOPs berbasis Ozon/GAC diperoleh waktu optimum 90 menit dan dosis optimum 2 gram dengan penurunan masing-masing menjadi 15 Pt-Co dan 0,0002 mg/L. Sedangkan pada penelitian Enjarlis, et.al., (2019) ozon/GAC mampu menyisihkan polutan COD sebesar 89,23% dan TSS 63%.

Kelebihan metode AOPs antara lain mampu mendegradasi polutan organik yang tidak terdegradasi dengan proses konvensional, dapat mereduksi zat warna yang tidak bisa diuraikan dengan teknologi lain, tidak menghasilkan sludge yang harus diolah lagi seperti pada teknologi koagulasi/sedimentasi, ramah lingkungan, dan tidak memerlukan proses regenerasi atau proses pencucian seperti pada pemakaian adsorben atau membran penyaring (Muruganandham & Swaminathan, 2006). Sedangkan kekurangannya yaitu AOPs relatif mahal karena memerlukan input reagen kimia yang terus menerus untuk mempertahankan pengoperasian sistem, pengoperasiannya secara teknis juga cukup menantang, beberapa teknik memerlukan pra-pengolahan air limbah untuk memastikan kinerja yang efektif, menggunakan AOPs saja untuk menangani sejumlah besar air limbah tidak efektif dari segi biaya, AOPs juga harus diterapkan

pada tahap akhir setelah memastikan bahwa pengolahan primer dan sekunder telah berhasil menghilangkan sebagian besar kontaminan (Jayalekshmi, 2021).

4.3.5 Proses Film Mikrobiologis (*Biofilm*)

Proses Film Mikrobiologis (*Biofilm*) atau biofilter merupakan salah satu metode yang dapat digunakan untuk mengolah air limbah industri batik. Adapun mekanisme proses pada metode ini dapat dilihat pada Gambar 4.3.



Gambar 4.3 Mekanisme Proses Metabolisme Di Dalam Proses Dengan Sistem Biofilm

Sumber: Said, 2000

Gambar diatas menunjukkan suatu sistem biofilm yang terdiri dari medium penyangga, lapisan biofilm yang melekat pada medium, lapisan alir limbah dan lapisan udara yang terletak di luar. Di lapisan biofilm, senyawa polutan yang terdapat pada limbah akan terdifusi. Senyawa-senyawa tersebut terdiri atas senyawa organik (BOD dan COD), amonia, fosfor, dan senyawa lainnya. Kemudian di saat bersamaan senyawa polutan tersebut akan diuraikan oleh mikroorganisme yang terdapat pada lapisan biofilm dengan menggunakan oksigen yang terlarut dalam limbah dan energi yang dihasilkan akan berubah menjadi biomassa. Ketika lapisan mikroorganisme cukup tebal, maka bagian luar lapisan biofilm akan berada pada kondisi aerobik. Sedangkan, bagian dalam biofilm akan berada pada kondisi anaerobik. Gas H_2S akan terbentuk pada kondisi anaerobik, kemudian gas H_2S tersebut akan diubah menjadi sulfat oleh bakteri sulfat yang terdapat di dalam biofilm apabila konsentrasi oksigen terlarut cukup besar. Selain itu, nitrogen amonium akan diubah menjadi nitrit dan nitrat pada zona aerobik, dan selanjutnya terjadi proses denitrifikasi nitrat yang terbentuk menjadi nitrogen pada zona anaerobik. Oleh karena itu, kondisi aerobik dan anaerobik dapat terjadi secara bersamaan di dalam sistem biofilm agar proses penghilangan senyawa nitrogen menjadi lebih mudah (Said, 2000).

Aliyuddin & Wesen (2016) telah melakukan pengolahan air limbah batik menggunakan hibrid anaerob yang dioperasikan secara *batch*. Bioreaktor hibrid anaerob bermedia plastik (*bioball*) adalah suatu proses pengolahan air limbah secara biologis dengan menggunakan 2 variasi yaitu sistem melekat dan sistem tersuspensi. Media ditujukan untuk tempat melekatnya mikroorganisme agar dapat melakukan proses perkembangbiakan. Proses pertumbuhan mikroorganisme pada biofilter anaerob bermedia plastik (*bioball*) ditandai dengan munculnya lapisan mikroorganisme (*biofilm*) pada permukaan media plastik (*bioball*) serta pada dinding – dinding reaktor biofilter. Setelah dianggap sudah cukup tebal lalu dilakukan proses aklimatisasi. Aklimatisasi bertujuan untuk mengadaptasikan mikroba yang terbentuk dengan limbah yang akan diolah. Hal ini dilakukan untuk melihat kestabilan mikroorganisme pada proses pembenihan (*seeding*) dan aklimatisasi pada reaktor tipe *fixed bed*. Penelitian ini menggunakan sistem anaerob dengan variasi yang digunakan adalah waktu tinggal (td) yaitu 12,18,24,30,36 jam dan rasio ketinggian *bioball*:tersuspensi 0,5:0,5 ; 0,43:0,57 ; 0,36:0,64 ; 0,28:0,72 ; 0,22:0,78. Penelitian didapatkan hasil optimal untuk efisiensi penyisihan COD, TSS, dan warna

berturut-turut sebesar 90,99%; 77,3% ; 61,85% pada waktu tinggal ke-36 jam dan ketinggian 0,36:0,64 dengan rasio resirkulasi 100%. Semakin lama waktu tinggal maka akan semakin lama waktu kontak antara limbah dengan biofilm sehingga proses degradasi akan berjalan semakin baik.

Penelitian Dewi, et.al., (2018) menggunakan bioreaktor kombinasi anaerob-aerob untuk mereduksi kadar BOD, COD, TSS dan warna air limbah batik. Prinsip dari reaktor *batch* yaitu reaktor diisi dengan reaktan dan disimpan selama waktu tertentu yang kemudian dilihat perubahan kualitasnya pada selang waktu tertentu. Perombakan pada tahap anaerob menggunakan bakteri yang berasal dari *Effective Microorganisms* (EM4) sedangkan pada tahap aerob efluen dari tahap anaerob diberikan penambahan oksigen kedalam reaktor. EM4 sebelum digunakan untuk perombakan zat pencemar dikembangkan dan diadaptasikan dengan media filter *bioball* selama 27 hari untuk membentuk lapisan biofilm. Perombakan limbah batik menggunakan reaktor kombinasi anaerob-aerob dengan sistem *batch* ini dilakukan selama 3 hari pada kondisi anaerob dan 3 hari pada kondisi aerob, selanjutnya dilakukan analisis terhadap parameter pencemar yang akan diuji. Hasil penelitian menunjukkan efisiensi penurunan COD, BOD, TSS, dan warna setelah dilakukan pengolahan selama 3 hari pada kondisi anaerob dan 3 hari pada kondisi aerob secara berturut-turut sebesar 74%, 73%, 69% dan 53%. Sedangkan Anindra (2019) menggunakan biofilter aerob media *bioball* untuk menyisihkan kontaminan BOD, COD, TSS, minyak dan lemak air limbah batik, adapun efisiensi penyisihan yang didapatkan berturut-turut adalah 24,19%, 23%, 43,76%, 56,86%.

Kelebihan dari metode ini antara lain pengoperasiannya mudah, lumpur yang dihasilkan sedikit, dapat digunakan untuk pengolahan air limbah dengan konsentrasi rendah maupun tinggi, tahan terhadap fluktuasi debit air limbah maupun konsentrasi, pengaruh penurunan suhu terhadap efisiensi pengolahan kecil, hemat energi, serta murah. Sedangkan untuk kekurangannya yaitu membutuhkan waktu *start-up* yang lama, dan waktu kontak relatif lama (Maharani, 2017; Said, 2000).

4.3.6 Lumpur Aktif (*Activated Sludge*)

Metode lumpur aktif merupakan suatu proses dimana biomassa terbentuk ketika udara diinjeksikan secara terus menerus ke dalam air limbah. Selama mikroorganisme tumbuh dan tercampur oleh agitasi udara, organisme tunggal akan terflokulasi menjadi bentuk massa mikroba yang aktif (flok biologis) atau biasa disebut lumpur aktif. Proses lumpur aktif menggunakan bakteri sebagai mikroorganisme primer, meskipun mikroorganisme lainnya pun juga berperan penting dalam proses pengolahan air limbah ini. Lumpur aktif adalah ekosistem kompleks yang terdiri dari bakteri, protozoa, virus, dan organisme-organisme lain. Proses lumpur aktif dalam pengolahan air limbah tergantung pada pembentukan flok lumpur aktif yang terbentuk oleh mikroorganisme (terutama bakteri), partikel anorganik, dan zat polimer eksoselular. Selama pengendapan flok, material yang terdispersi, seperti sel bakteri dan flok kecil, menempel pada permukaan flok (Aditia, 2020).

Prinsip dasar pengolahan dengan lumpur aktif terdiri atas dua unit utama, yaitu proses pada bioreaktor (tangki aerasi) dan tangki sedimentasi. Dalam sistem lumpur aktif, air limbah serta biomassa akan dicampur secara sempurna dalam suatu reaktor dan dilakukan aerasi. Pada proses ini, lumpur aktif akan mengoksidasi kandungan zat di dalam air limbah secara biologis (melibatkan mikroorganisme yang menstabilkan limbah secara aerobik). Setelah proses aerasi, suspensi biomassa dalam air limbah akan dialirkan ke dalam tangki sedimentasi (tangki untuk memisahkan biomassa dan air yang telah diolah). Lalu, sebagian biomassa yang telah diendapkan dikembalikan ke bioreaktor dan air yang telah terolah dibuang ke lingkungan (Badjoeri et al, 2002). Campuran lumpur aktif dan air limbah pada tangki aerasi disebut *mixed liquor*. Konsentrasi biomassa aktif disebut *Mixed Liquor Volatile Suspended Solids* (MLVSS),

sedangkan konsentrasi dari biomassa aktif ditambah dengan padatan *inert* dinyatakan sebagai *Mixed Liquor Suspended Solids* (MLSS) (Aditia, 2020).

Berdasarkan Rachma, et.al., (2012) lumpur aktif dapat digunakan untuk pengolahan air limbah batik karena mampu menurunkan kadar pencemar bahan organik dan logam berat. Limbah dari industri batik dalam bentuk padatan tersuspensi akan dilakukan pembibitan dengan menutrienkan pupuk N sebanyak 1 mg/L, serta pupuk P dan pupuk K sebanyak 0,5 mg/L. Sedimentasi dari limbah ini diberikan aerasi selama 1 hari dan akan menghasilkan lumpur aktif yang selanjutnya dilakukan perlakuan terhadap sampel. Adapun kualitas sampel yang digunakan memiliki kandungan COD 465 mg/L, BOD 129,4 mg/L, dan Pb 0,74 mg/L. Mekanisme kerja proses yang dilakukan yaitu air limbah ditampung ke dalam bak penyangkai, pada bak ini air limbah akan diproses dengan cara menambahkan atau melarutkan udara ke dalam air dan menambahkan lumpur aktif yang diperoleh dari bak pengendap dengan variasi waktu kontak 0, 8, 12, 16, dan 24 jam selama 3 hari berturut-turut. Penelitian ini menggunakan lumpur aktif dengan mengambil volume yang tetap pada pengambilan sampel dari jam ke- 0 hingga jam ke- 24 sehingga dapat menghasilkan senyawa organik yang tetap banyak dan dapat menurunkan konsentrasi pencemar, karena semakin lama waktu pengendapan lumpur aktif terhadap volume limbah dengan pengambilan sampel dan pada variabel waktu tinggal yang sama maka persentase penurunan kadar COD, BOD, dan Pb semakin besar. Efektivitas lumpur aktif dalam menurunkan kadar pencemar secara berturut-turut adalah 80,42%, 79,03%, dan 75,13%. Nilai COD dan BOD sendiri telah memenuhi baku mutu, namun tidak dengan Pb karena nilainya masih cukup tinggi yaitu 0,56 mg/L. Waktu optimal perlakuan lumpur aktif terhadap penurunan kadar COD dan BOD adalah 12 jam, sedangkan Pb adalah 8 jam.

Agustiawati & Alifiah (2018) menggunakan lumpur aktif untuk menurunkan kadar BOD, COD, dan TSS air limbah industri batik rumah tangga. Bibit mikroorganisme untuk reaktor lumpur aktif dalam penelitian ini berasal dari bangunan IPAL PT SIER. Jumlah reaktor yang digunakan ada dua buah, satu reaktor untuk proses *seeding* serta aklimatisasi dan satu reaktor untuk proses lumpur aktif secara *batch*. Air limbah ini memiliki kandungan BOD₅ 2800 mg/L, COD 4700 mg/L, dan TSS 796 mg/L. Adapun kondisi pertumbuhan mikroorganisme dalam reaktor lumpur aktif *batch* diukur melalui parameter *Mixed Liquor Suspended Solid* (MLSS) dan *Mixed Liquor Volatile Suspended Solid* (MLVSS) pada jam ke-0, 6, 24, 72, dan 168. Hasil yang diperoleh menunjukkan bahwa mikroorganisme menunjukkan peningkatan konsentrasi MLSS maupun MLVSS selama 168 jam pengamatan. Demikian pula perbandingan MLVSS terhadap MLSS nya menunjukkan nilai diatas 0,6 yang berarti mikroorganisme mampu beradaptasi dan menggunakan limbah cair batik sebagai sumber makanan bagi pertumbuhannya. Pada kondisi Lumpur Aktif dengan nilai perbandingan F/M = 0,421 (berdasarkan nilai BOD₅ terhadap MLVSS) dan F/M = 0,704 (berdasarkan nilai COD terhadap MLVSS) menghasilkan efisiensi BOD₅ sebesar 75,2%, COD sebesar 75,4%, dan TSS sebesar 61,6 % yang diukur pada jam ke 168.

Kelebihan dari penggunaan sistem lumpur aktif dalam pengolahan air limbah antara lain dapat menghilangkan bahan organik, dicapainya oksidasi dan nitrifikasi, pemisahan padatan/cairan, mampu mengurangi padatan tersuspensi, serta daya larut oksigen dalam air limbah lebih besar. Sedangkan untuk kekurangannya yaitu tidak menghilangkan nutrisi sehingga memerlukan penanganan tersier, daur ulang biomassa menyebabkan konsentrasi biomassa yang tinggi di dalam tangki aerasi sehingga diperlukan waktu tinggal yang tepat, proses operasional yang rumit mengingat proses lumpur aktif memerlukan pengawasan yang cukup ketat seperti kondisi suhu dan *bulking control* endapan, membutuhkan energi yang besar dalam proses pengolahannya, serta membutuhkan penanganan lumpur lebih lanjut (Aditia, 2020).

4.3.7 *Constructed Wetlands (CWs)*

Wetland atau lahan basah merupakan salah satu teknologi pengolahan air limbah menggunakan tumbuhan air. Tumbuhan air dalam wetland memegang peranan penting dalam proses pemulihan kualitas air limbah secara alamiah (*self purification*). Pada umumnya, tumbuhan air yang mampu tumbuh dan beradaptasi dengan cepat pada kondisi lingkungan tercemar merupakan tumbuhan air yang berpotensi digunakan sebagai biofilter penjernih air limbah. *Constructed wetlands (CWs)* mendapatkan banyak perhatian karena dianggap layak untuk mengolah air limbah terutama pada daerah terpencil. *CWs* didefinisikan sebagai teknologi hijau yang ramah lingkungan (Afifah & Mangkoediharjo, 2018).

CWs telah digunakan di seluruh dunia dan menunjukkan performa yang tinggi serta konsisten dalam menyisihkan pencemar organik seperti BOD, COD, padatan tersuspensi, serta mikroorganisme. Pengolahan dengan *CWs* biasanya menggunakan satu jenis tumbuhan saja. Sedangkan tumbuhan yang hidup di alam ada berbagai jenis dengan kemampuan penyisihan yang berbeda. Berdasarkan uraian tersebut diduga penggunaan kombinasi tumbuhan air dapat lebih efektif mengurai bahan organik maupun anorganik dalam air limbah dibandingkan menggunakan satu jenis tumbuhan. Efisiensi pengolahan dari *CWs* sangat bergantung pada keberadaan vegetasi. Tumbuhan menyerap pencemar dari air dan rizosfer menjadi tempat terikatnya mikroorganisme yang memiliki peran dalam pengolahan air. Perbedaan jenis makrofita memiliki efisiensi penyisihan beban pencemar yang berbeda karena panjang akar dan sistem perakaran yang berbeda-beda. Tumbuhan air sendiri terdiri dari 4 jenis berdasarkan fasa hidupnya, mulai dari tumbuhan *free floating*, *floating leaved*, *rooted emergent*, dan *submerged macrophytes*. Perbedaan dapat terjadi akibat adanya perbedaan hidrologi berdasarkan arah aliran air sehingga setiap jenis *CWs* bisa jadi membutuhkan tumbuhan air yang berbeda sesuai dengan karakteristik yang sesuai dengan kondisi *CWs*. *CWs* dikategorikan menjadi dua jenis, yaitu *free water surface* dimana air limbah tergenang di atas tanah seperti rawa pada umumnya, dan *subsurface flow* dimana air limbah mengalir di bawah permukaan tanah. Diantara dua kategori ini, aliran *subsurface* diketahui mampu mengurangi bau dari air limbah. *Subsurface CWs* dapat diklasifikasikan lebih jauh lagi berdasarkan arah aliran yang terjadi, yaitu *vertical flow (VF)* dan *horizontal flow (HF)* (Afifah & Mangkoediharjo, 2018).

Indrayani & Triwiswara (2018) menggunakan teknologi lahan basah buatan untuk pengolahan air limbah batik. Media yang digunakan dalam penelitian ini adalah campuran tanah dan pasir, arang aktif, serta kerikil. Alasan digunakannya campuran tanah dan pasir yaitu karena material tersebut mengandung unsur hara yang dibutuhkan oleh tanaman. Sedangkan kerikil yang memiliki ukuran diameter ± 2 cm diletakkan pada bagian inlet dengan tujuan untuk meratakan aliran pada outlet. Sementara arang aktif sendiri digunakan untuk menghilangkan bau, warna maupun ion-ion logam berat. Arang aktif berfungsi sebagai adsorben untuk mempercepat proses penggumpalan zat padatan terlarut (*soluble solid*) pada bahan cair oleh permukaan zat atau bahan penyerap melalui ikatan fisika-kimia. Pengolahan ini menggunakan 5 reaktor dimana setiap reaktor ditanami oleh tanaman yang berbeda, adapun tanaman yang digunakan antara lain yaitu tanaman Pegagan air (*Centella asiatica*), Lidi air (*Hippochaetes lymenalis*), Bambu air (*Equisetum hyemale*), Melati air (*Echinodorus palaeifolius*), dan Kana lonceng (*Pistia stratiotes*). Hasil yang diperoleh dari pengolahan ini yaitu tanaman pegagan air mampu menyisihkan TDS sebesar 12,71%, TSS 16,67 – 98,92%, dan COD 85,29 – 90,03%, tanaman lidi air mampu menyisihkan TSS sebesar 16,67 – 96,6%, tanaman bambu air

menyisihkan TSS 97,36%, tanaman melati air menyisihkan TDS sebesar 4,5 – 54,4%, TSS 16,67 – 97,74%, BOD 39,73 – 89,96%, sedangkan tanaman kana lonceng mampu menyisihkan parameter TSS sebesar 71,4 – 98,3%, BOD 86,67 – 89,96%, COD 47,91 – 48,46%.

Khalish (2021) mengolah air limbah batik menggunakan constructed wetland dengan model horizontal sub-surface flow. Pada pengolahan ini dilakukan beda variasi perlakuan yaitu dengan 3 variasi reaktor antara lain: reaktor dengan mixed aquatic plant (*Iris Pseudacorus* & *Typha Angustifolia*), single aquatic plant (*Iris Pseudacorus*) dan single aquatic plant (*Typha Angustifolia*), adapun waktu tinggal yang digunakan yakni selama 49,9 jam. Hasil yang diperoleh menunjukkan bahwa efisiensi rata-rata penyisihan kadar pencemar BOD, COD, TSS, Fenol total, Amonia, dan Sulfida paling optimum terdapat pada variasi *Typha angustifolia* yaitu dengan penurunan masing-masing sebesar 88,98%, 80,82%, 89,51%, 89,81%, 79,95%, dan 96,71%. Sedangkan efisiensi terendah yaitu pada variasi *Iris pseudacorus* dengan penurunan masing-masing 69,05%, 64,24%, 88,8%, 89,81%, 60,81%, dan 96,71%. Sementara reaktor kombinasi memiliki tingkat efisiensi diantara kedua reaktor lainnya, yaitu dengan penurunan masing-masing 76,27%, 72,72%, 90,2%, 81,84%, 72,73%, 96,71%. Hal ini menunjukkan bahwa dengan adanya kombinasi 2 jenis tanaman dalam satu reaktor tidak memicu terjadinya peningkatan efektifitas penyisihan karena kemungkinan munculnya kompetisi antar 2 jenis tanaman. Alternatif yang dapat diterapkan guna menghindari peristiwa tersebut yaitu dengan menggunakan reaktor berbeda untuk satu jenis tanaman.

Audina & Rahmadyanti (2019) menggunakan teknologi hybrid constructed wetland (vertical flow & horizontal flow) dengan tanaman *Canna indica*. Hasil yang diperoleh yaitu terjadi penurunan COD air limbah batik pada hari ke -3 sebesar 89,61%. CW yang ditanami tanaman menghasilkan efisiensi penurunan material organik lebih tinggi daripada CW yang tidak ditanami tanaman. Hal ini menunjukkan bahwa tanaman *Canna indica* memainkan peran penting dalam penyisihan komponen organik limbah batik dalam constructed wetland. Penelitian lain juga menyebutkan bahwa hybrid CW yang tidak ditanami CW masih dapat menurunkan kadar COD dikarenakan pasir dan tanah juga berkontribusi untuk menyediakan kondisi lingkungan yang baik sebagai tempat berkembangbiaknya mikroorganisme dan mendegradasi material organik dalam limbah. Sedangkan presentase penurunan parameter BOD paling optimum terjadi pada hari ke – 5 yaitu 98,74%, sementara penurunan minyak dan lemak paling optimum terjadi pada hari ke – 3 yaitu 89,53%.

Constructed wetlands (CWs) termasuk teknologi tepat guna karena tidak memerlukan biaya pengolahan dan perawatan tinggi, prosesnya sederhana dan menggunakan sumber daya lokal, serta berkelanjutan sebagai unit pengolahan limbah dengan memanfaatkan teknologi alami, pengolahan biologis dengan tumbuhan dapat menghemat biaya operasional hingga 50% karena tumbuhan dapat tetap berkembang tanpa biaya (Afifah & Mangkoediharjo, 2018; Audina & Rahmadyanti, 2019; Almira, 2018). Kekurangan dari penggunaan CWs yaitu pengoperasian sistem ini tergantung pada kondisi lingkungan termasuk iklim dan suhu, dimana pengolahan kurang optimal untuk daerah dengan suhu rendah. Selain itu, CWs dengan free water system, dapat berpotensi menimbulkan bau dan menjadi sarang bagi vektor penyakit (nyamuk) (Husnabilah, 2012), selain itu lahan yang dibutuhkan juga cukup luas namun dapat disesuaikan dengan kebutuhan, situasi dan kondisi yang ada.

Dari hasil uraian terkait metode pengolahan diatas, dapat diketahui efisiensi removal zat pencemar dari masing-masing metode, adapun rekapitulasinya dapat dilihat pada Tabel 4.3.

Tabel 4.3 Rekapitulasi Efisiensi Removal Masing-Masing Metode Pengolahan Air Limbah Batik

No	Parameter	Adsorpsi	Koagulasi-Flokulasi	Elektrokoagulasi	Advanced Oxidation Processes (AOPs)	Proses Film Mikrobiologis (Biofilm)	Lumpur Aktif (Activated Sludge)	Constructed Wetlands (CWs)
1	BOD	58,27 – 94,58%	72,10%	7,02 – 63,28%	73,29 – 80,75%	24,19 - 73%	75,2 – 79,03%	39,73 – 98,74%
2	COD	53,51 – 98,74%	40 – 88%	54 – 94,48%	6,7 – 89,23%	23 – 90,99%	75,4 – 80,42%	47,91 – 90,03%
3	TDS	38,97 – 69,5%	8,2 – 93,66%					4,5 – 54,4%
4	TSS	93,93%	70,7 - 99,9%	50 – 99,11%	4,8 – 92,5%	43,76 – 77,3%	61,60%	16,67 – 98,92%
5	Fenol				99,80%			81,84 – 89,81%
6	Amonia			63,91%				60,81 – 79,95%
7	Sulfida							96,71%
8	Minyak dan Lemak			94,78%		56,86%		89,53%
9	Kekeruhan		97,94%	69,40%				
10	Warna	62,98 – 98,88%	43,1 - 99%	39,47%	3,1 – 84,6%	53 – 61,85%		
11	Timbal	68,18%		83,65%			75,13%	
12	Kadmium	76,10%						

Sumber: Agustiwati & Alifiah, 2018; Aliyuddin & Wesen, 2016; Anindra, 2019; Audina & Rahmadyanti, 2019; Avifah, 2019; Ayuningtyas, 2020; Devy & Haryanto, 2021; Dewi et.al., 2018; Enjarlis et.al., 2019; Fitriyah et.al., 2022; Fuazi & Tuhu, 2018; Indrayani & Trwisiwara, 2018; Khalish, 2021; Mutiara, 2019; Natalina & Firdaus, 2017; Nilasari et.al., 2020; Purwaningsih et.al., 2021; Rachma et.al., 2012; Radityaningrum & Caroline, 2017; Riwayati et.al., 2014; Rochma & Titah, 2017; Rosydiana et.al., 2015; Rusydi et.al., 2017; Saptarini, 2009; Saraswati, 2020; Sari & Nugraha, 2017; Utami et.al., 2019; Yunitasari et.al., 2017

4.4 Studi Kasus

Studi kasus pada studi ini dilakukan pada Industri Skala Menengah Batik Dewi Rengganis Kabupaten Probolinggo dan Skala Kecil Industri Batik Besurek Kelurahan Lempuing, Bengkulu dengan tujuan untuk menangani permasalahan terkait air limbah yang dihasilkan dari proses produksi batik agar tidak mencemari lingkungan.

4.4.1 Skala Menengah

Kabupaten Probolinggo telah banyak mengembangkan usaha industri terutama Industri Kecil Menengah (IKM). Jumlah usaha skala mikro di Kabupaten Probolinggo sangat tinggi, yakni sebesar 66.406 unit atau sebesar 87,11% dari seluruh total usaha di Kabupaten Probolinggo. Sedangkan untuk usaha skala kecil terdapat 8.987 unit atau sebanyak 11,79%, dan usaha skala besar menempati urutan jumlah terendah, yakni 47 unit atau sebesar 0,06% dari seluruh total usaha di Kabupaten Probolinggo. Sektor usaha unggulan berdasarkan data Dinas Koperasi dan Usaha Mikro Kabupaten Probolinggo antara lain yaitu makanan dan minuman, jasa, batik, camilan dan *handy craft* (Abdillah, 2021).

Kabupaten Probolinggo merupakan salah satu sentra batik di Indonesia yang memproduksi batik dengan motif khas sesuai identitas daerahnya, untuk memperkenalkan sekaligus menjaga kelestarian batik maka setiap instansi pemerintah maupun pendidikan diwajibkan untuk mengenakan batik khas Probolinggo pada hari tertentu. Hal tersebut diatur dalam surat edaran yang dikeluarkan oleh Bupati setempat, adapun surat edaran pemerintah memberikan dampak yang positif bagi para pengrajin batik, karena membuat peminat kian meningkat sehingga permintaan produk batik khas Probolinggo juga semakin tinggi. Salah satu industri batik yang terkenal di daerah ini adalah Rumah Industri Batik Dewi Rengganis (Sukmawati, 2020).

Rumah Industri Batik Dewi Rengganis merupakan Industri Kecil Menengah (IKM) yang berdiri sejak tahun 2011 milik seorang warga bernama Rosyami warga RT 03/RW 03, Dusun Kuripan, Desa Jatiurip, Kecamatan Krejengan. Rumah Industri Batik Dewi Rengganis memproduksi batik tulis dan batik cap, tetapi yang lebih banyak diproduksi dan menjadi produk unggulan adalah batik tulis. Rumah industri ini termasuk salah satu dari tiga pioner pengrajin batik tulis di Kabupaten Probolinggo, Jawa Timur. Batik Dewi Rengganis memiliki ciri khas serta keunikan motif yang berbeda dengan motif-motif batik lainnya, dimana pada setiap motif batik tersebut menceritakan sosok sang Dewi Rengganis yang digambarkan sebagai seorang perempuan cantik jelita dan merupakan salah seorang putri dari Prabu Brawijaya (Raja Majapahit) yang menurut cerita rakyat setempat, sang putri pernah tinggal di antara Kecamatan Krucil, Tiris dan Krejengan (Sari & Susanti, 2018; Sukmawati, 2020).

Dalam memproduksi batik, Rumah Industri Batik Dewi Rengganis menggunakan pewarna kimia remazol, hal ini tentunya karena mempertimbangkan keunggulan yang dimiliki seperti penggunaannya yang mudah, warna yang tajam, dan tahan lama. Proses produksi dilakukan seperti pembuatan batik pada umumnya yang terdiri dari beberapa tahapan yaitu persiapan, pembatikan, pewarnaan, pelepasan lilin, serta pelorodan. Kegiatan proses produksi tersebut menghasilkan air limbah dengan jumlah yang cukup besar, berwarna keruh, dan berpotensi mencemari lingkungan. Dilansir dari Hamzah, et.al., (2021) Rumah Industri Batik Dewi Rengganis mempunyai 48 orang pekerja yang mayoritas merupakan kaum perempuan, dimana setiap pekerja dapat menghasilkan 1-5 kain batik per harinya. Untuk mencegah terjadinya pencemaran yang ditimbulkan, rumah industri ini sudah semestinya melakukan upaya untuk mengolah limbahnya agar dapat dibuang ke lingkungan, namun realitanya Rumah

Industri Batik Dewi Rengganis belum memiliki sistem pengolahan air limbah (SPAL) yang baik dan sesuai karena kurangnya pengetahuan terkait pengolahan air limbah, sehingga kualitas air limbah yang dihasilkan juga tidak memenuhi baku mutu yang berlaku. Hal ini diketahui dari kualitas air limbah Rumah Industri Batik Dewi Rengganis yang tersaji pada Tabel 4.4, untuk volume air yang digunakan maupun air limbah yang dihasilkan sendiri tidak diketahui karena tidak tersedianya *water meter* di rumah industri ini. Namun, berdasarkan Almira (2018) industri kecil menengah dapat menghasilkan air limbah rata-rata sebesar 18 m³/hari.

Tabel 4.4 Hasil Uji Laboratorium Kualitas Air Limbah Rumah Industri Batik Dewi Rengganis

No	Parameter	Satuan	Nilai	Baku Mutu	
				Proses Basah	Proses Kering
1.	pH	-	11,75	6,0 – 9,0	6,0 – 9,0
2.	BOD ₅	mg/l	224,71	85	85
3.	COD	mg/l	8057,9	250	250
4.	TSS	mg/l	5160	60	80
5.	Fenol	mg/l	<0,2	0,5	1
6.	Kromium (Cr)	mg/l	<LD	1	2
7.	Amonia	mg/l	1,818	3	3
8.	Sulfida	mg/l	117,131	0,3	0,3
9.	Minyak Lemak	mg/l	60,8	5	5

Sumber: Sukmawati, 2020

Hasil uji laboratorium Tabel 4.4 menunjukkan bahwa terdapat enam parameter yang tidak memenuhi baku mutu berdasarkan Peraturan Daerah Daerah Istimewa Yogyakarta Nomor 7 Tahun 2016 antara lain yaitu pH, BOD, COD, TSS, Sulfida, serta Minyak dan Lemak.

4.4.2.1 Rekomendasi Metode Pengolahan pada Studi Kasus Skala Menengah

Pemilihan metode yang ideal pada studi kasus perlu disesuaikan dengan kualitas air limbah yang dimiliki. Dilansir dari Martini (2020), beberapa metode pengolahan air dan limbah cair dapat diterapkan dengan sistem tunggal (*sole method*) maupun secara terintegrasi yang melibatkan minimal 2 metode pengolahan yang berkesinambungan (*combined/hybrid*) untuk mendapatkan hasil air olahan yang lebih baik. Sebelum menentukan pilihan terkait alternatif pengolahan yang akan digunakan, perlu diketahui kemampuan setiap alternatif dalam menyisihkan zat pencemar air limbah. Perhitungan kualitas efluen dari alternatif pengolahan untuk studi kasus skala menengah dapat dilihat pada Tabel 4.5.

Tabel 4.5 Kualitas Efluen Air Limbah Industri Batik Skala Menengah pada Setiap Metode Pengolahan

Metode Pengolahan	BOD			COD			TSS			Sulfida			Minyak dan Lemak		
	In	%R	Eff	In	%R	Eff	In	%R	Eff	In	%R	Eff	In	%R	Eff
Adsorpsi	225	94,58	12,18	8057,9	97	241,74	5160	93,93	313,21	117,1	0	117,13	60,8	0	60,8
Koagulasi-flokulasi		72,1	62,69		71,61	2287,6		99,74	13,42		0	117,13		0	60,8
Elektrokoagulasi		63,28	82,51		87,5	1007,2		99,11	45,92		0	117,13		94,78	3,17
<i>Advanced Oxidation Processes (AOPs)</i>		73,29	60,02		89,23	867,84		63	1909,2		0	117,13		0	60,8
Proses Film Mikrobiologis (Biofilm)		73	60,75		88,5	926,66		77,30	11,71		0	117,10		56,86	26,23
Lumpur Aktif (Activated Sludge)		79,03	47,18		80,42	1577,74		61,60	19,81		0	117,10		0	60,80
<i>Constructed Wetlands (CWs)</i>		98,74	2,84		89,61	837,22		89,51	5,41		96,71	3,85		89,53	6,37

Sumber: Hasil Perhitungan

Keterangan :



: Tidak memenuhi baku mutu

Setelah melakukan perhitungan kualitas efluen, dapat dilakukan perhitungan luas lahan dari masing-masing metode sebagai pertimbangan lain dalam melakukan perancangan skenario pengolahan.

A. Bak Ekualisasi

Bak ekualisasi adalah bak penampungan yang berfungsi untuk meminimumkan dan mengendalikan fluktuasi aliran limbah cair baik kuantitas maupun kualitas yang berbeda dan menghomogenkan konsentrasi limbah cair (Mubin, 2016). Perhitungan kebutuhan lahan unit ekualisasi mengacu pada kriteria desain yang dapat dilihat pada Tabel 4.6.

Tabel 4.6 Kriteria Desain Unit Ekualisasi

Kriteria Desain	Nilai	Satuan
Waktu detensi (td)	4 – 8	jam
Kedalaman (H)	< 4	m

Sumber: Said, 2002

Diketahui:

1. Debit (Q) = 18 m³/hari
2. Waktu detensi (td) = 4 jam
3. Kedalaman (H) = 1,5 m
4. Tebal dinding = 0,25 m
5. Rasio P : L = 2 (2 : 1)

Perhitungan:

1. Volume (V) = Q x td
= 18 m³/hari x 4 jam
= 3 m³
2. Luas permukaan (Asurface) = V / H
= 3 m³ / 1,5 m
= 2 m²
3. Lebar (L) = (Asurface / rasio)^{0,5}
= (2 m² / 1)^{0,5}
= 1,4 m
4. Panjang (P) = Lebar x rasio
= 1,4 m x 2
= 2,8 m
5. Kebutuhan luas lahan = (P + (2 x tebal dinding)) x (L + (2 x tebal dinding))
= (2,8 m + (2 x 0,25 m)) x (1,4 m + (2 x 0,25 m))
= 6,27 m²

B. Adsorpsi

Perhitungan kebutuhan lahan unit adsorpsi mengacu pada kriteria desain yang dapat dilihat pada Tabel 4.7.

Tabel 4.7 Kriteria Desain Unit Adsorpsi

Kriteria Desain	Nilai	Satuan
Volume <i>flowrate</i> (V)	50 - 400	m ³ /jam
Volume <i>bed</i> (Vb)	10 - 50	m ³
Luas penampang	5 - 30	m ²

Densitas arang	350 - 550	kg/m ³
Kecepatan aliran <i>bed</i> (vf)	5 - 15	m/jam
Waktu kontak <i>bed</i> kosong	5 - 30	Menit
Waktu kontak efektif	2 - 10	Menit
Waktu operasi	100 - 600	Hari

Sumber: Metcalf & Eddy, 2004

Diketahui:

1. Debit (Q) = 18 m³/hari
2. Panjang bed (Pb) = 2 m (1,8 - 4 m)
3. Kecepatan aliran bed (vf) = 5 m/jam (5 - 15 m/jam)
4. Densitas arang = 350 kg/m³ (350 - 550 kg/m³)
5. Luas penampang (Ab) = 5 m² (5 - 30 m²)

Perhitungan:

1. Volume bed (Vb) = (Q x Pb) / vf
= (18 m³/hari x 2 m) / 5 m/jam
= 0,3 m³
2. Massa karbon aktif arang = Vb x densitas arang
= 0,3 m³ x 350 kg/m³
= 105 kg
3. Tinggi bed (Hb) = Vb / Ab
= 0,3 m³ / 5 m²
= 0,06 m ≈ 1 m
4. Lebar bed (Lb) = Ab / Pb
= 5 m² / 2 m
= 2,5 m
5. Kebutuhan luas lahan = Pb x Lb
= 2 x 2,5 m
= 5 m²

C. Koagulasi-Flokulasi

Perhitungan kebutuhan lahan unit koagulasi mengacu pada kriteria desain yang dapat dilihat pada Tabel 4.8.

Tabel 4.8 Kriteria Desain Unit Koagulasi

Kriteria Desain	Nilai	Satuan
Gradien kecepatan (G)	>750	/detik
Waktu detensi (td)	1 - 5	detik

Sumber: SNI 6774-2008

Kriteria bak koagulan adalah sebagai berikut:

- a. Bak koagulan harus dapat menampung larutan selama 24 jam;
- b. Diperlukan 2 buah bak yaitu 1 buah bak pengaduk manual atau mekanis dan 1 buah bak pembubuh;
- c. Bak harus dilindungi dari pengaruh luar dan tahan terhadap bahan koagulan.

Diketahui:

Unit mekanis

1. Jumlah (n) = 2 bak
2. Debit (Q_{total}) = 18 m³/hari
= 0,2 L/detik
3. Debit (Q) per bak = Q_{total} / n
= 0,2 L/detik / 2 bak
= 0,1 L/detik
4. Gradien kecepatan (G) = 900 /detik (>750 /detik)
5. Waktu detensi (td) = 5 detik (1 - 5 detik)
6. Rasio P:L = 1
7. Kedalaman (H) = 1 m
8. Tebal dinding = 0,25 m

Perhitungan:

1. Volume (V) = $Q \times td$
= (0,1 L/detik / 1.000 m³/L) x 5 detik
= 0,0005 m³
2. Luas permukaan (Asurface) = V/H
= 0,0005 m³ / 1 m
= 0,0005 m²
= Panjang x Lebar
= L x L
= L²
3. Lebar (L) = $\sqrt{Asurface}$
= $\sqrt{0,0005}$
= 0,02 m \approx 0,5 m
4. Panjang (P) = L
= 0,5 m
5. Kebutuhan luas lahan = $n \times (P + (2 \times \text{tebal dinding})) \times (L + (2 \times \text{tebal dinding}))$
= 2 x (0,5 + (2 x 0,25)) x (0,5 + (2 x 0,25))
= 2 m²

Perhitungan kebutuhan lahan unit flokulasi mengacu pada kriteria desain yang dapat dilihat pada Tabel 4.9.

Tabel 4.9 Kriteria Desain Unit Flokulasi

Kriteria Desain	Flokulator Mekanis		Satuan
	Sumbu Horizontal dengan Pedal	Sumbu Vertikal dengan Bilah	
Gradien kecepatan (G)	60 (menurun) - 10	60 (menurun) - 10	/detik
Kecepatan putar pengaduk	1 - 5	8 - 25	Rpm
Waktu detensi (td)	30 - 40	20 - 30	menit

Sumber: SNI 6774-2008

Diketahui:

Unit mekanis

1. Jumlah (n) = 2 bak
2. Debit (Q_{total}) = 18 m³/hari

	= 0,2 L/detik
3. Debit (Q) per bak	= Q_{total} / n = 0,2 L/detik / 2 bak = 0,1 L/detik
4. G1	= 60/detik (60 - 10/detik)
G2	= 40/detik (60 - 10/detik)
G3	= 20/detik (60 - 10/detik)
5. Waktu detensi (td)	= 30 menit (30 – 40 menit)
6. Rasio P:L	= 3
7. Kedalaman (H)	= 1 m
8. Tebal dinding	= 0,25 m
Perhitungan:	
1. Volume (V)	= $Q \times td$ = (0,1 L/detik / 1.000 m ³ /L) x (30 menit x 60 detik/menit) = 0,18 m ³
2. Luas permukaan (Asurface)	= V/H = 0,18 m ³ / 1 m = 0,18 m ² = Panjang x Lebar = 3L x L = 3L ²
3. Lebar (L)	= $\sqrt{\frac{Asurface}{3}}$ = $\sqrt{\frac{0,18}{3}}$ = 0,25 m \approx 0,5 m
4. Panjang (P)	= 3 x L = 3 x 0,5 m = 1,5 m
5. Kebutuhan luas lahan	= n x (P+(2 x tebal dinding)) x (L+(2 x tebal dinding)) = 2 x (1,5+(2 x 0,25)) x (0,5+(2 x 0,25)) = 4 m ²

D. Elektrokoagulasi

Diketahui:

1. Debit (Q)	= 18 m ³ /hari
2. Waktu detensi (td)	= 60 detik
3. Lebar (L)	= 1 m
4. Tebal dinding	= 0,25 m
5. Rasio P : H	= 4 (4 : 1)

Perhitungan:

1. Volume (V)	= $Q \times td$ = 18 m ³ /hari x 60 detik = 0,0125 m ³
2. Volume (V)	= P x L x H = (rasio x H) x 1 m x H

$$\begin{aligned}
 &= 4H^2 \times 1 \text{ m} \\
 3. \text{ Kedalaman (H)} &= (V / (4 \times 1 \text{ m}))^{0,5} \\
 &= (0,0125 \text{ m}^3 / 4)^{0,5} \\
 &= 0,056 \text{ m} \approx 0,5 \text{ m} \\
 4. \text{ Panjang (P)} &= H \times \text{rasio} \\
 &= 0,5 \text{ m} \times 4 \\
 &= 2 \text{ m} \\
 5. \text{ Kebutuhan luas lahan} &= (P + (2 \times \text{tebal dinding})) \times (L + (2 \times \text{tebal dinding})) \\
 &= (2 \text{ m} + (2 \times 0,25 \text{ m})) \times (1 \text{ m} + (2 \times 0,25 \text{ m})) \\
 &= 3,75 \text{ m}^2
 \end{aligned}$$

E. *Advanced Oxidation Processes (AOPs)*

Diketahui:

$$\begin{aligned}
 1. \text{ Debit (Q)} &= 18 \text{ m}^3/\text{hari} \\
 2. \text{ Waktu detensi (td)} &= 10 \text{ menit} \quad (5 - 25 \text{ menit}) \\
 3. \text{ Kedalaman (H)} &= 2 \text{ m} \\
 4. \text{ Tebal dinding} &= 0,25 \text{ m} \\
 5. \text{ Rasio P : L} &= 2 \quad (2 : 1)
 \end{aligned}$$

Perhitungan:

$$\begin{aligned}
 1. \text{ Volume (V)} &= Q \times \text{td} \\
 &= 18 \text{ m}^3/\text{hari} \times 10 \text{ menit} \\
 &= 0,125 \text{ m}^3 \\
 2. \text{ Luas permukaan} &= V / H \\
 \text{ (A}_{\text{surface}}\text{)} &= 0,125 \text{ m}^3 / 2 \text{ m} \\
 &= 0,0625 \text{ m}^2 \approx 0,07 \text{ m}^2 \\
 3. \text{ Lebar (L)} &= (\text{A}_{\text{surface}} / \text{rasio})^{0,5} \\
 &= (0,07 \text{ m}^2 / 1)^{0,5} \\
 &= 0,27 \text{ m} \approx 1 \text{ m} \\
 4. \text{ Panjang (P)} &= \text{Lebar} \times \text{rasio} \\
 &= 1 \text{ m} \times 2 \\
 &= 2 \text{ m} \\
 5. \text{ Kebutuhan luas lahan} &= (P + (2 \times \text{tebal dinding})) \times (L + (2 \times \text{tebal dinding})) \\
 &= (2 \text{ m} + (2 \times 0,25 \text{ m})) \times (1 \text{ m} + (2 \times 0,25 \text{ m})) \\
 &= 3,75 \text{ m}^2
 \end{aligned}$$

F. *Proses Film Mikrobiologis (Biofilm)*

Perhitungan kebutuhan lahan unit biofilter anaerob mengacu pada kriteria desain yang dapat dilihat pada Tabel 4.10.

Tabel 4.10 Kriteria Desain Biofilter Anaerob

Kriteria Desain	Nilai	Satuan
Kedalaman media filter	90 – 150	cm
Waktu Tinggal Hidrolik dalam filter	0,5 – 4	hari

Sumber: Direktorat Jenderal Cipta Karya, 2018

Diketahui:

$$\begin{aligned}
 1. \text{ Debit (Q)} &= 18 \text{ m}^3/\text{hari} \\
 2. \text{ Waktu detensi (td)} &= 2 \text{ hari} \\
 3. \text{ Kedalaman (H)} &= 1,5 \text{ m}
 \end{aligned}$$

4. Tebal dinding = 0,25 m

Perhitungan:

1. Volume (V) = $Q \times td$
= $18 \text{ m}^3/\text{hari} \times 2 \text{ hari}$
= 36 m^3
2. Luas permukaan (*Asurface*) = V / H
= $36 \text{ m}^3 / 1,5 \text{ m}$
= 24 m^2
3. Lebar (L) = $\sqrt{Asurface}$
= $\sqrt{24}$
= 4,9 m
4. Panjang (P) = L
= 4,9 m
5. Kebutuhan luas lahan = $(P + (2 \times \text{tebal dinding})) \times (L + (2 \times \text{tebal dinding}))$
= $(4,9 \text{ m} + (2 \times 0,25 \text{ m})) \times (4,9 \text{ m} + (2 \times 0,25 \text{ m}))$
= $10,8 \text{ m}^2$

Perhitungan kebutuhan lahan unit biofilter aerob mengacu pada kriteria desain yang dapat dilihat pada Tabel 4.11.

Tabel 4.11 Kriteria Desain Biofilter Aerob

Kriteria Desain	Nilai	Satuan
Waktu detensi (td)	6 – 8	jam
Kedalaman ruang lumpur (hl)	0,5	m
Kedalaman bed filter (H)	0,9 – 150	m
Tinggi air di atas media filter	20	cm
Beban BOD per satuan permukaan media filter	0,5 – 4	Kg BOD/m ³ hari

Sumber: Direktorat Jenderal Cipta Karya, 2018

Diketahui:

1. Debit (Q) = $18 \text{ m}^3/\text{hari}$
2. Waktu detensi (td) = 6 jam
3. Kedalaman (H) = 1,5 m
4. Tebal dinding = 0,25 m

Perhitungan:

Biofilter aerob terdiri dari 2 ruangan yaitu ruang aerasi dan ruang bed media

Ruang bed media filter:

1. Volume media filter = $Q \times td$
= $18 \text{ m}^3/\text{hari} \times 6 \text{ jam}$
= $4,5 \text{ m}^3$
2. Luas permukaan (*Asurface*) = V / H
= $4,5 \text{ m}^3 / 1,5 \text{ m}$
= 3 m^2
3. Lebar (L) = $\sqrt{Asurface}$
= $\sqrt{3}$

$$\begin{aligned}
 &= 1,7 \text{ m} \\
 4. \text{ Panjang (P)} &= L \\
 &= 1,7 \text{ m} \\
 5. \text{ Kebutuhan luas lahan} &= (P + (2 \times \text{tebal dinding})) \times (L + (2 \times \text{tebal dinding})) \\
 &= (1,7 \text{ m} + (2 \times 0,25 \text{ m})) \times (1,7 \text{ m} + (2 \times 0,25 \text{ m})) \\
 &= 4,84 \text{ m}^2
 \end{aligned}$$

Ruang aerasi:

$$\begin{aligned}
 1. \text{ Lebar bak (L)} &= 1,7 \text{ m} \\
 2. \text{ Panjang bak (P)} &= 1,7 \text{ m} \\
 3. \text{ Kebutuhan luas lahan} &= (P + (2 \times \text{tebal dinding})) \times (L + (2 \times \text{tebal dinding})) \\
 &= (1,7 \text{ m} + (2 \times 0,25 \text{ m})) \times (1,7 \text{ m} + (2 \times 0,25 \text{ m})) \\
 &= 4,84 \text{ m}^2 \\
 \text{Total kebutuhan luas lahan} &= \text{luas ruang bed media} + \text{luas lahan biofilter aerob} \\
 \text{biofilter aerob} &= 4,84 \text{ m}^2 + 4,84 \text{ m}^2 \\
 &= 9,68 \text{ m}^2
 \end{aligned}$$

G. Lumpur Aktif (*Activated Sludge*)

Perhitungan kebutuhan lahan unit lumpur aktif mengacu pada kriteria desain yang dapat dilihat pada Tabel 4.12.

Tabel 4.12 Kriteria Desain Unit Lumpur Aktif

Kriteria Desain	Nilai	Satuan
Umur sel (θ_c)	5 – 15	hari
Koef. Pertumbuhan (Y)	0,4 – 0,8	mgVSS/mgBOD
Koef. Decay (K_d)	0,025 – 0,075	hari ⁻¹
MLSS	2500 – 4000	mg/L
F/M rasio	0,2 – 0,6	hari ⁻¹

Sumber: Direktorat Jenderal Cipta Karya, 2018

Diketahui:

$$\begin{aligned}
 1. \text{ Debit (Q)} &= 18 \text{ m}^3/\text{hari} \\
 2. \text{ Umur sel } (\theta_c) &= 10 \text{ hari} \\
 3. \text{ Koef. Pertumbuhan (Y)} &= 0,6 \text{ mgVSS/mgBOD} \\
 4. \text{ Koef. Decay } (K_d) &= 0,05 \text{ hari}^{-1} \\
 5. \text{ MLSS} &= 3000 \text{ mg/L} \\
 6. \text{ F/M rasio} &= 0,6 \text{ hari}^{-1} \\
 7. \text{ MLVSS (X)} &= 1800 \text{ mg/L} \\
 8. S_o &= 225 \text{ mg/L} \\
 9. S &= 47,18 \text{ mg/L} \\
 10. H &= 2 \text{ m} \\
 11. \text{ Tebal dinding} &= 0,25 \text{ m} \\
 12. \text{ Rasio P : L} &= 2
 \end{aligned}$$

Perhitungan:

$$1. \text{ Volume} = \theta_c Q Y (S_o - S) / X (1 + K_d \theta_c)$$

$$\begin{aligned}
&= (10 \times 18 \text{ m}^3/\text{hari} \times 0,6 \text{ mgVSS/mgBOD} (225 \text{ mg/L} \\
&\quad - 47,18 \text{ mg/L})) / (1800 \text{ mg/L} (1 + (0,05 \text{ hari}^{-1} \times 10 \text{ hari})) \\
&= 7,1 \text{ m}^3 \\
2. \text{ Luas (A)} &= V / H \\
&= 7,1 \text{ m}^3/\text{hari} / 2 \text{ m} \\
&= 3,55 \text{ m}^2 \\
&= P \times L \\
&= 2L \times L \\
3. \text{ Lebar (L)} &= \sqrt{\frac{3,55}{2}} \\
&= \sqrt{\frac{3,55}{2}} \\
&= 1,3 \text{ m} \\
4. \text{ Panjang (P)} &= \text{Lebar} \times \text{rasio} \\
&= 1,3 \text{ m} \times 2 \\
&= 2,6 \text{ m} \\
5. \text{ Kebutuhan luas lahan} &= (P + (2 \times \text{tebal dinding})) \times (L + (2 \times \text{tebal dinding})) \\
&= (2,6 \text{ m} + (2 \times 0,25 \text{ m})) \times (1,3 \text{ m} + (2 \times 0,25 \text{ m})) \\
&= 5,58 \text{ m}^2
\end{aligned}$$

H. *Constructed Wetlands (CWs)*

Perhitungan kebutuhan lahan unit wetland mengacu pada kriteria desain yang dapat dilihat pada Tabel 4.13.

Tabel 4.13 Kriteria Desain Unit *Constructed Wetlands*

Kriteria Desain	Nilai	Satuan
HLR	¹ 0,2 – 1	m ³ /m ² .hari
L/W ratio	² 4 : 1 – 10 : 1	-
Media medium gravel		
Ks	³ 5000	m ³ / m ² .hari
A	³ 0,4	-
K ₂₀	³ 1,104	-
Kemiringan tanah (<i>slope</i>)	³ 0,01	-

Sumber: ¹Ellis dkk., 2003

²Hlavinek dkk., 2007

³EPA, 1999

Diketahui:

Direncanakan menggunakan *mixed aquatic plant* dengan reaktor berbeda agar efisiensi penyisihan pencemar yang dihasilkan tinggi.

1. Jumlah (n) = 2 bak
2. Debit (Q) = 18 m³/hari
3. [BOD_{in}] (C_o) = 225 mg/L
4. [BOD_{ef}] (C_e) = 2,84 mg/L
5. Suhu (T) = 25 °C
6. Kedalaman media (d) = 0,6 m

7. Media yang digunakan = medium gravel
 8. K_s = $5000 \text{ m}^3 / \text{m}^2 \cdot \text{hari}$
 9. α = 0,4
 10. K_{20} = 1,104
 11. *Slope* (S) = 0,01
- Perhitungan:
1. Q per bak = Q / n
 = $18 \text{ m}^3 / \text{hari} / 2 \text{ bak}$
 = $9 \text{ m}^3 / \text{hari}$
2. K_T = $K_{20} (1,1)^{(T-20)}$
 K_{25} = $1,104 (1,1)^{(25-20)}$
 K_{25} = $1,778 / \text{hari}$
3. t' = $-\ln ((C_e / C_o) / K_T)$
 = $-\ln ((2,84 \text{ mg/L} / 225 \text{ mg/L}) / 1,778 / \text{hari})$
 = 2,5 hari
4. Luas permukaan = $Q / (K_s \times S)$
 = $9 \text{ m}^3 / \text{hari} / (5000 \text{ m}^3 / \text{m}^2 \cdot \text{hari} \times 0,01)$
 = $0,18 \text{ m}^2$
5. Lebar (W) = A_s / d
 = $0,18 \text{ m}^2 / 0,6 \text{ m}$
 = 0,3 m
6. Panjang basin (L) = $(t \times Q) / (W \times d \times \alpha)$
 = $(2,5 \text{ hari} \times 9 \text{ m}^3 / \text{hari}) / (0,6 \text{ m} \times 0,6 \times 0,4)$
 = 156,25
7. Luas lahan per bak = $L \times W$
 = $156,25 \text{ m} \times 0,6 \text{ m}$
 = $93,75 \text{ m}^2$
8. Kebutuhan luas lahan = luas lahan per unit x jumlah unit
 = $93,75 \text{ m}^2 \times 2$
 = $187,5 \text{ m}^2$

Perbandingan setiap alternatif pengolahan skala menengah dari segi aspek ekonomi, sosial, dan lingkungan dapat dilihat pada Tabel 4.14.

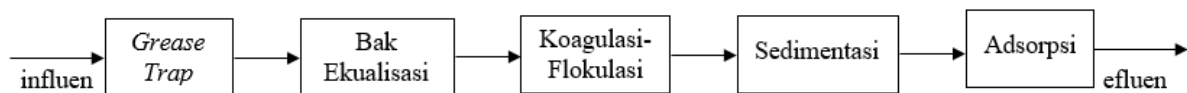
Tabel 4.14 Perbandingan Alternatif Pengolahan Skala Menengah

Metode Pengolahan	Kriteria			
	Kualitas Efluen	Luas Lahan	Kelebihan dan Kekurangan Operasional	Biaya Investasi
Adsorpsi	%Removal: BOD 94,58% COD 98,74% TSS 93,93%	5 m ²	Desain alat sederhana, bahan pembantu proses (adsorben) mudah didapatkan, pengoperasiannya mudah, perlu regenerasi adsorben	Alat sederhana, harga adsorben yang cukup ekonomis dan dapat digunakan berulang kali hingga batas maksimal

				<p>pemakaiannya, biaya perawatan relatif terjangkau (lebih mahal dari biofilter)</p>
<p>Koagulasi-Flokulasi</p>	<p>%Removal: BOD 72,1% COD 71,61% TSS 99,74%</p>	<p>6 m²</p>	<p>Pengoperasiannya perlu pengawasan sehingga dibutuhkan Sumber Daya Manusia (SDM) / operator yang memadai di bidang proses kimia</p>	<p>Biaya yang dibutuhkan cenderung lebih tinggi dari pengolahan fisik karena membutuhkan zat kimia sebagai koagulan dan energi listrik dalam pengoperasiannya (lebih mahal dari adsorpsi)</p>
<p>Elektrokoagulasi</p>	<p>%Removal: BOD 63,28% COD 94,48% TSS 99,11% Minyak dan lemak 94,78%</p>	<p>3,75 m²</p>	<p>Alat sederhana, dan mudah dioperasikan, namun elektroda yang digunakan dalam proses elektrokoagulasi harus diganti secara teratur, tidak membutuhkan bahan kimia</p>	<p>Besarnya reduksi zat pencemar dipengaruhi oleh voltase arus listrik searah elektroda, biayanya cukup mahal karena penggunaan energi listrik yang cukup besar (lebih mahal dari koagulasi-flokulasi)</p>
<p>Advanced Oxidation Processes (AOPs)</p>	<p>%Removal: BOD 73,29% COD 89,23% TSS 63%</p>	<p>3,75 m²</p>	<p>Pengoperasiannya secara teknis cukup sulit dan menantang</p>	<p>Memerlukan <i>input</i> reagen kimia secara terus-menerus sehingga relatif mahal, menggunakan AOPs saja untuk menangani sejumlah besar air limbah juga tidak efektif dari segi biaya (paling mahal dari ketujuh metode)</p>

Proses Film Mikrobiologis (Biofilm)	% Removal: BOD 73% COD 88,5% Sulfida 77,3%	10,8 m ² (anaerob) 9,68 m ² (aerob)	Pengoperasiaannya mudah karena tidak terjadi masalah <i>bulking</i> seperti lumpur aktif, lumpur yang dihasilkan sedikit, tahan terhadap fluktuasi debit air limbah maupun konsentrasi	Biaya murah karena memanfaatkan mikroorganisme dalam prosesnya, energi yang dibutuhkan juga rendah (lebih mahal dari wetland)
Lumpur Aktif (Activated Sludge)	% Removal: BOD 79,03% COD 80,42% Sulfida 61,6%	5,58 m ²	Proses operasional rumit karena perlu pengawasan yang cukup ketat seperti kondisi suhu & <i>bulking control</i> endapan	Biaya investasi relatif mahal karena membutuhkan energi yang besar, serta pengolahan lumpur lebih lanjut (lebih mahal dari elektrokoagulasi)
Constructed Wetlands (CWs)	% Removal: BOD 98,74% COD 89,61% TSS 45% Sulfida 89,51% Minyak lemak 96,71%	187,5 m ²	Prosesnya sederhana serta berkelanjutan dengan memanfaatkan teknologi alami namun berpotensi menimbulkan bau dan menjadi sarang bagi vektor penyakit	Pengolahan biologis dengan tumbuhan dapat menghemat biaya operasional hingga 50% karena tumbuhan dapat tetap berkembang tanpa memerlukan biaya (paling murah dari ketujuh metode)

Kualitas air limbah IKM Batik Dewi Rengganis memiliki nilai rasio BOD/COD <0,3 sehingga pengolahan biologis tidak direkomendasikan, pada studi kasus ini juga tidak dapat menggunakan metode dengan sistem tunggal karena tingginya zat pencemar yang terkandung. Berdasarkan hasil perhitungan kualitas efluen setiap metode pengolahan dan perbandingan setiap alternatif pengolahan, pengolahan yang ideal adalah kombinasi proses koagulasi-flokulasi dan adsorpsi. Pengolahan koagulasi-flokulasi sendiri mampu menyisihkan zat warna dalam air limbah batik hingga 99% sedangkan adsorpsi 98,88%. Adapun koagulan yang dapat digunakan adalah tawas karena tingginya pH air limbah yaitu 11,57 (basa). Setelah proses koagulasi-flokulasi diperlukan unit sedimentasi untuk mengendapkan flok dari koagulasi-flokulasi dan pemisahan kotoran, sehingga air yang dihasilkan dapat lebih jernih. Sedangkan untuk penyisihan minyak dan lemak dapat menggunakan *grease trap* dengan efisiensi penyisihan hingga 95% (Dinda, 2018). Adapun kelebihan dari *grease trap* yaitu memiliki umur pakai yang relatif lama, biaya operasional dan perawatan rendah, serta tidak membutuhkan lahan yang luas (Maharani, 2017). Diagram alir pengolahan IKM Batik Dewi Rengganis tersaji pada Gambar 4.4.



Gambar 4.4 Skenario Pengolahan Air Limbah Batik Skala Menengah

Skenario pengolahan ini hanya direkomendasikan untuk IKM Batik Dewi Rengganis, adapun perhitungan unit sedimentasi dan *grease trap* sebagai berikut:

Tabel 4.15 Kriteria Desain Unit Sedimentasi

Kriteria Desain	Nilai	Satuan
Waktu tinggal (td)	2 - 4	jam
Beban permukaan (OFR)	20 - 50	m ³ /m ² .hari
Beban pelimpah (<i>weir</i>)	< 250	m ³ /m.hari

Sumber: Said, 2017

Diketahui:

1. Debit (Q) = 18 m³/hari
2. Waktu detensi (td) = 3 jam
3. Kedalaman (H) = 1 m
4. Tebal dinding = 0,25 m
5. Rasio P : L = 3 (3 : 1)

Perhitungan:

1. Volume bak (V) = Q x td
= 18 m³/hari x 3 jam
= 2,25 m³
2. Luas permukaan (*A_{surface}*) = V / H
= 2,25 m³ / 2 m
= 1,125 m²
3. Lebar bak (L) = (*A_{surface}* / rasio)^{0,5}
= (1,125 m² / 1)^{0,5}
= 1
4. Panjang bak (P) = Lebar x rasio
= 1 m x 3
= 3 m
5. Luas lahan per unit = (P + (2 x tebal dinding)) x (L + (2 x tebal dinding))
= (3 m + (2 x 0,25 m)) x (1 m + (2 x 0,25 m))
= 5,25 m²

Perhitungan luas lahan unit *grease trap*

Diketahui:

1. Debit (Q) = 18 m³/hari
2. Waktu detensi (td) = 30 – 60 menit
3. Kedalaman (H) = 0,4 m
4. Tebal dinding = 0,25 m
5. Rasio P : L = 2 (2 : 1)

Perhitungan:

1. Volume bak (V) = Q x td

- = 18 m³/hari x 50 menit
= 0,625 m³
2. Luas permukaan
(*A_{surface}*) = V / H
= 0,625 m³ / 2 m
= 0,3125 m²
3. Lebar bak (L) = (*A_{surface}* / rasio)^{0,5}
= (0,3125 m² / 1)^{0,5}
= 0,56 m
4. Panjang bak (P) = Lebar x rasio
= 0,56 m x 2
= 1,12 m
5. Luas lahan = P x L
= 1,12 x 0,56
= 0,63 m²

Dari perancangan skenario pengolahan yang telah dibuat, didapatkan luas lahan total yang dibutuhkan sebagai berikut:

Tabel 4.16 Kebutuhan Luas Lahan Skenario Pengolahan Skala Menengah

Unit Pengolahan	Luas Lahan	Satuan
Unit <i>grease trap</i>	0,63	m ²
Unit ekualisasi	6,27	m ²
Unit koagulasi - flokulasi	6	m ²
Unit sedimentasi	5,25	m ²
Unit adsorpsi	5	m ²
Luas Lahan Total	23,15	m²

Sumber: Hasil Perhitungan

Kualitas efluen dari skenario alternatif pengolahan studi kasus skala menengah tersaji pada Tabel 4.17.

Tabel 4.17 Kualitas Efluen Air Limbah IKM Batik Dewi Rengganis

Alternatif Pengolahan Skala Menengah									
Parameter	In	<i>Grease Trap</i>		Koagulasi-flokulasi		Adsorpsi		Baku Mutu	
		%R	Eff	%R	Eff	%R	Eff	Proses Basah	Proses Kering
BOD	224,71	0	224,71	72,1	62,694	94,58	3,398	85	85
COD	8057,9	0	8057,9	71,61	2287,6	97	68,629	250	250
TSS	5160	0	5160	99,74	13,416	93,93	0,8144	60	80
Fenol	<0,2	0	<0,2	0	<0,2	0	<0,2	0,5	1
Kromium (Cr)	<LD	0	<LD	0	<LD	0	<LD	1	2
Amonia	1,818	0	1,818	0	1,818	0	1,818	3	3
Sulfida	117,13	0	117,13	0	117,13	0	117,13	0,3	0,3
Minyak dan Lemak	60,8	92	4,86	0	4,86	0	4,86	5	5

Sumber: Hasil Perhitungan

4.4.2 Skala Kecil

Industri kecil adalah kegiatan industri yang dikerjakan di rumah-rumah penduduk yang pekerjaannya merupakan anggota keluarga sendiri yang tidak terikat jam kerja dan tempat. Industri kecil dapat juga diartikan sebagai usaha produktif, baik itu merupakan mata pencaharian utama maupun sampingan (Suroyah, 2016). Industri batik yang akan digunakan dalam pembahasan studi kasus skala kecil ini merupakan industri batik besurek rumahan milik salah satu warga di Kelurahan Lempuing, Bengkulu yang terletak di antara pemukiman warga. Industri ini termasuk dalam golongan industri kecil mikro karena pekerjaannya kurang dari 20 orang, dan debit air limbah yang dihasilkan juga cukup kecil yaitu sebesar 3,55 m³/hari. Adapun air limbah yang dihasilkan langsung dibuang melalui pipa ke saluran pembuangan dan selanjutnya mengalir ke sungai kecil yang terletak di belakang lokasi industri (Belladona, et.al., 2019), kualitas air limbah batik dapat dilihat pada Tabel 4.18.

Tabel 4.18 Hasil Uji Laboratorium Kualitas Air Limbah Industri Batik Besurek Kelurahan Lempuing

No	Parameter	Satuan	Nilai	Baku Mutu	
				Proses Basah	Proses Kering
1	pH	-	7,9	6,0 – 9,0	6,0 – 9,0
2	BOD ₅	mg/l	173,14	85	85
3	COD	mg/l	509,87	250	250
4	TDS	mg/l	329	2000	2000
5	TSS	mg/l	39	60	80
6	Fenol	mg/l	0	0,5	1
7	Sulfida	mg/l	0,02	0,3	0,3
8	Minyak Lemak	mg/l	540,65	5	5

Sumber: Belladona, et.al., 2019

Data kualitas air limbah industri batik besurek kelurahan lempuing yang tertera pada Tabel 4.18 menunjukkan bahwa terdapat tiga parameter yang tidak memenuhi baku mutu berdasarkan Peraturan Daerah Daerah Istimewa Yogyakarta Nomor 7 antara lain BOD, COD, minyak dan lemak.

4.4.2.1 Rekomendasi Metode Pengolahan pada Studi Kasus Skala Kecil


Dalam melakukan perancangan skenario pengolahan yang disesuaikan dengan kualitas air limbah industri batik besurek Kelurahan Lempuing, perlu diketahui kemampuan setiap alternatif dalam menyisihkan zat pencemar terlebih dahulu. Perhitungan kualitas efluen dari alternatif pengolahan untuk studi kasus skala kecil dapat dilihat pada Tabel 4.19.

Tabel 4.19 Kualitas Efluen Air Limbah Industri Batik Skala Kecil pada Setiap Metode Pengolahan

Metode Pengolahan	BOD			COD			TDS			TSS			Sulfida			Minyak dan Lemak		
	In	%R	Eff	In	%R	Eff	In	%R	Eff	In	%R	Eff	In	%R	Eff	In	%R	Eff
Adsorpsi	173	94,58	9,38	509,87	97	15,3	329	60	131,6	39	93,93	2,37	0,02	0	0,02	540,65	0	540,7
Koagulasi-flokulasi		72,1	48,31		71,61	144,75		88	39,48		99,74	0,1		0	0,02		0	540,7
Elektrokoagulasi		63,28	63,58		87,5	63,73		0	329		99,11	0,35		0	0,02		94,78	28,2
<i>Advanced Oxidation Processes (AOPs)</i>		73,29	46,25		89,23	54,91		0	329		63	14,43		0	0,02		0	540,7
Proses Film Mikrobiologis (<i>Biofilm</i>)		73	46,75		88,5	58,64		0	329		77,3	8,85		0	0,02		56,86	233,2
Lumpur Aktif (<i>Activated Sludge</i>)		79,03	36,31		80,42	99,83		0	329		61,6	14,98		0	0,02		0	540,7
<i>Constructed Wetlands (CWs)</i>		98,74	2,18		89,61	52,98		45	180,95		89,51	4,09		96,71	0,001		89,53	56,6

Sumber: Hasil Perhitungan

Keterangan :

 : Tidak memenuhi baku mutu

Setelah melakukan perhitungan kualitas efluen, dapat dilakukan perhitungan luas lahan dari masing-masing metode sebagai acuan pertimbangan dalam melakukan perancangan skenario pengolahan.

A. Bak Ekualisasi

Diketahui:

1. Debit (Q) = 3,55 m³/hari
2. Waktu detensi (td) = 4 jam
3. Kedalaman (H) = 1 m
4. Tebal dinding = 0,25 m
5. Rasio P : L = 2 (2 : 1)

Perhitungan:

1. Volume (V) = Q x td
= 3,55 m³/hari x 4 jam
= 0,6 m³
2. Luas permukaan (Asurface) = V / H
= 0,6 m³ / 1 m
= 0,6 m²
3. Lebar (L) = (Asurface / rasio)^{0,5}
= (0,6 m² / 2)^{0,5}
= 0,77 m ≈ 0,8 m
4. Panjang (P) = Lebar x rasio
= 0,8 m x 2
= 1,6 m
5. Kebutuhan luas lahan = (P + (2 x tebal dinding)) x (L + (2 x tebal dinding))
= (1,6 m + (2 x 0,25 m)) x (0,8 m + (2 x 0,25 m))
= 2,73 m²

B. Adsorpsi

Diketahui:

1. Debit (Q) = 3,55 m³/hari
2. Panjang bed (Pb) = 2 m (1,8 - 4 m)
3. Kecepatan aliran bed (vf) = 5 m/jam (5 - 15 m/jam)
4. Densitas arang = 350 kg/m³ (350 - 550 kg/m³)
5. Luas penampang (Ab) = 5 m² (5 - 30 m²)

Perhitungan:

1. Volume bed (Vb) = (Q x Pb) / vf
= (3,55 m³/hari x 2 m) / 5 m/jam
= 0,06 m³ ≈ 0,1 m³
2. Massa karbon aktif arang = Vb x densitas arang
= 0,1 m³ x 350 kg/m³
= 35 kg
3. Tinggi bed (Hb) = Vb / Ab
= 0,1 m³ / 5 m²
= 0,02 m ≈ 0,5 m
4. Lebar bed (Lb) = Ab / Pb
= 5 m² / 2 m

$$\begin{aligned}
&= 2,5 \text{ m} \\
5. \text{ Kebutuhan luas lahan} &= P_b \times L_b \\
&= 2 \times 2,5 \text{ m} \\
&= 5 \text{ m}^2
\end{aligned}$$

C. Koagulasi-Flokulasi

Diketahui:

Unit mekanis

$$\begin{aligned}
1. \text{ Jumlah (n)} &= 2 \text{ bak} \\
2. \text{ Debit (Q}_{total}\text{)} &= 3,55 \text{ m}^3/\text{hari} \\
&= 0,04 \text{ L/detik} \\
3. \text{ Debit (Q) per bak} &= Q_{total} / n \\
&= 0,04 \text{ L/detik} / 2 \text{ bak} \\
&= 0,02 \text{ L/detik} \\
4. \text{ Gradien kecepatan (G)} &= 900 / \text{detik} \quad (>750 / \text{detik}) \\
5. \text{ Waktu detensi (td)} &= 5 \text{ detik} \quad (1 - 5 \text{ detik}) \\
6. \text{ Rasio P:L} &= 1 \\
7. \text{ Kedalaman (H)} &= 1 \text{ m} \\
8. \text{ Tebal dinding} &= 0,25 \text{ m}
\end{aligned}$$

Perhitungan:

$$\begin{aligned}
1. \text{ Volume (V)} &= Q \times t_d \\
&= (0,02 \text{ L/detik} / 1.000 \text{ m}^3/\text{L}) \times 5 \text{ detik} \\
&= 0,0001 \text{ m}^3 \\
2. \text{ Luas permukaan} &= V/H \\
\text{(A}_{surface}\text{)} &= 0,0001 \text{ m}^3 / 1 \text{ m} \\
&= 0,0001 \text{ m}^2 \\
&= \text{Panjang} \times \text{Lebar} \\
&= L \times L \\
&= L^2 \\
3. \text{ Lebar (L)} &= \sqrt{A_{surface}} \\
&= \sqrt{0,0001} \\
&= 0,01 \text{ m} \approx 0,5 \text{ m} \\
4. \text{ Panjang (P)} &= L \\
&= 0,5 \text{ m} \\
5. \text{ Kebutuhan luas lahan} &= n \times (P+(2 \times \text{tebal dinding})) \times (L+(2 \times \text{tebal dinding})) \\
&= 2 \times (0,5+(2 \times 0,25)) \times (0,5+(2 \times 0,25)) \\
&= 2 \text{ m}^2
\end{aligned}$$

Diketahui:

Unit mekanis

$$\begin{aligned}
1. \text{ Jumlah (n)} &= 2 \text{ bak} \\
2. \text{ Debit (Q}_{total}\text{)} &= 3,55 \text{ m}^3/\text{hari} \\
&= 0,04 \text{ L/detik} \\
3. \text{ Debit (Q) per bak} &= Q_{total} / n \\
&= 0,04 \text{ L/detik} / 2 \text{ bak} \\
&= 0,02 \text{ L/detik} \\
4. \text{ G}_1 &= 60/\text{detik} \quad (60 - 10/\text{detik}) \\
\text{G}_2 &= 40/\text{detik} \quad (60 - 10/\text{detik})
\end{aligned}$$

G3	= 20/detik	(60 - 10/detik)
5. Waktu detensi (td)	= 30 menit	(30 – 40 menit)
6. Rasio P:L	= 3	
7. Kedalaman (H)	= 1 m	
8. Tebal dinding	= 0,25 m	
Perhitungan:		
1. Volume (V)	= Q x td	
	= (0,02 L/det / 1.000 m ³ /L) x (30 menit x 60 detik/menit)	
	= 0,036 m ³	
2. Luas permukaan (Asurface)	= V/H	
	= 0,036 m ³ / 1 m	
	= 0,036 m ²	
	= Panjang x Lebar	
	= 3L x L	
	= 3L ²	
3. Lebar (L)	= $\sqrt{\frac{Asurface}{3}}$	
	= $\sqrt{\frac{0,036}{3}}$	
	= 0,1 m ≈ 0,5 m	
4. Panjang (P)	= 3 x L	
	= 3 x 0,5 m	
	= 1,5 m	
5. Kebutuhan luas lahan	= n x (P+(2 x tebal dinding)) x (L+(2 x tebal dinding))	
	= 2 x (1,5+(2 x 0,25)) x (0,5+(2 x 0,25))	
	= 4 m ²	

D. Elektrokoagulasi

Diketahui:

1. Debit (Q)	= 3,55 m ³ /hari
2. Waktu detensi (td)	= 60 detik
3. Lebar (L)	= 1 m
4. Tebal dinding	= 0,25 m
5. Rasio P : H	= 4 (4 : 1)

Perhitungan:

1. Volume (V)	= Q x td
	= 3,55 m ³ /hari x 60 detik
	= 0,0025 m ³
2. Volume (V)	= P x L x H
	= (rasio x H) x 1 m x H
	= 4H ² x 1 m
3. Kedalaman (H)	= (V / (4 x 1 m)) ^{0,5}
	= (0,0025 m ³ / 4) ^{0,5}
	= 0,025 m ≈ 0,5 m
4. Panjang (P)	= H x rasio
	= 0,5 m x 4

$$\begin{aligned}
&= 2 \text{ m} \\
5. \text{ Kebutuhan luas lahan} &= (P + (2 \times \text{tebal dinding})) \times (L + (2 \times \text{tebal dinding})) \\
&= (2 \text{ m} + (2 \times 0,25 \text{ m})) \times (1 \text{ m} + (2 \times 0,25 \text{ m})) \\
&= 3,75 \text{ m}^2
\end{aligned}$$

E. *Advanced Oxidation Processes (AOPs)*

Diketahui:

$$\begin{aligned}
1. \text{ Debit (Q)} &= 3,55 \text{ m}^3/\text{hari} \\
2. \text{ Waktu detensi (td)} &= 10 \text{ menit} \quad (5 - 25 \text{ menit}) \\
3. \text{ Kedalaman (H)} &= 2 \text{ m} \\
4. \text{ Tebal dinding} &= 0,25 \text{ m} \\
5. \text{ Rasio P : L} &= 2 \quad (2 : 1)
\end{aligned}$$

Perhitungan:

$$\begin{aligned}
1. \text{ Volume (V)} &= Q \times \text{td} \\
&= 3,55 \text{ m}^3/\text{hari} \times 10 \text{ menit} \\
&= 0,024 \text{ m}^3 \\
2. \text{ Luas permukaan} &= V / H \\
(\text{A}_{\text{surface}}) &= 0,024 \text{ m}^3 / 2 \text{ m} \\
&= 0,012 \text{ m}^2 \approx 0,07 \text{ m}^2 \\
3. \text{ Lebar (L)} &= (\text{A}_{\text{surface}} / \text{rasio})^{0,5} \\
&= (0,012 \text{ m}^2 / 1)^{0,5} \\
&= 0,1 \text{ m} \approx 1 \text{ m} \\
4. \text{ Panjang (P)} &= \text{Lebar} \times \text{rasio} \\
&= 1 \text{ m} \times 2 \\
&= 2 \text{ m} \\
5. \text{ Kebutuhan luas lahan} &= (P + (2 \times \text{tebal dinding})) \times (L + (2 \times \text{tebal dinding})) \\
&= (2 \text{ m} + (2 \times 0,25 \text{ m})) \times (1 \text{ m} + (2 \times 0,25 \text{ m})) \\
&= 3,75 \text{ m}^2
\end{aligned}$$

F. *Proses Film Mikrobiologis (Biofilm)*

Biofilter anaerob

Diketahui:

$$\begin{aligned}
1. \text{ Debit (Q)} &= 3,55 \text{ m}^3/\text{hari} \\
2. \text{ Waktu detensi (td)} &= 2 \text{ hari} \\
3. \text{ Kedalaman (H)} &= 1,5 \text{ m} \\
4. \text{ Tebal dinding} &= 0,25 \text{ m}
\end{aligned}$$

Perhitungan:

$$\begin{aligned}
1. \text{ Volume (V)} &= Q \times \text{td} \\
&= 3,55 \text{ m}^3/\text{hari} \times 2 \text{ hari} \\
&= 7,1 \text{ m}^3 \\
2. \text{ Luas permukaan} &= V / H \\
(\text{A}_{\text{surface}}) &= 7,1 \text{ m}^3 / 1,5 \text{ m} \\
&= 4,73 \text{ m}^2 \\
3. \text{ Lebar (L)} &= \sqrt{\text{A}_{\text{surface}}} \\
&= \sqrt{4,73} \\
&= 2,2 \text{ m}
\end{aligned}$$

4. Panjang (P) = L
= 2,2 m
5. Kebutuhan luas lahan = $(P + (2 \times \text{tebal dinding})) \times (L + (2 \times \text{tebal dinding}))$
= $(2,2 \text{ m} + (2 \times 0,25 \text{ m})) \times (2,2 + (2 \times 0,25 \text{ m}))$
= $5,4 \text{ m}^2$

Biofilter aerob

Diketahui:

1. Debit (Q) = $3,55 \text{ m}^3/\text{hari}$
2. Waktu detensi (td) = 6 jam
3. Kedalaman (H) = 1,5 m
4. Tebal dinding = 0,25 m

Perhitungan:

Biofilter aerob terdiri dari 2 ruangan yaitu ruang aerasi dan ruang bed media

Ruang bed media filter:

1. Volume media filter = $Q \times \text{td}$
= $3,55 \text{ m}^3/\text{hari} \times 6 \text{ jam}$
= $0,9 \text{ m}^3$
2. Luas permukaan (A_{surface}) = V / H
= $0,9 \text{ m}^3 / 1,5 \text{ m}$
= $0,6 \text{ m}^2$
3. Lebar (L) = $\sqrt{A_{\text{surface}}}$
= $\sqrt{0,6}$
= 0,8 m
4. Panjang (P) = L
= 0,8 m
5. Kebutuhan luas lahan = $(P + (2 \times \text{tebal dinding})) \times (L + (2 \times \text{tebal dinding}))$
= $(0,8 \text{ m} + (2 \times 0,25 \text{ m})) \times (0,8 + (2 \times 0,25 \text{ m}))$
= $2,6 \text{ m}^2$

Ruang aerasi:

1. Lebar bak (L) = 0,8 m
2. Panjang bak (P) = 0,8 m
3. Kebutuhan luas lahan = $(P + (2 \times \text{tebal dinding})) \times (L + (2 \times \text{tebal dinding}))$
= $(0,8 \text{ m} + (2 \times 0,25 \text{ m})) \times (0,8 + (2 \times 0,25 \text{ m}))$
= $2,6 \text{ m}^2$

Total kebutuhan luas lahan biofilter aerob = luas ruang bed media + luas lahan biofilter aerob
= $2,6 \text{ m}^2 + 2,6 \text{ m}^2$
= $5,2 \text{ m}^2$

G. Lumpur Aktif (*Activated Sludge*)

Diketahui:

1. Debit (Q) = $3,55 \text{ m}^3/\text{hari}$
2. Umur sel (θ_c) = 10 hari
3. Koef. Pertumbuhan (Y) = $0,6 \text{ mgVSS}/\text{mgBOD}$
4. Koef. Decay (K_d) = $0,05 \text{ hari}^{-1}$

5. MLSS	= 3000 mg/L
6. F/M rasio	= 0,6 hari ⁻¹
7. MLVSS (X)	= 1800 mg/L
8. S _o	= 173 mg/L
9. S	= 36,31 mg/L
10. H	= 2 m
11. Tebal dinding	= 0,25 m
12. Rasio P : L	= 2
Perhitungan:	
1. Volume	$= \theta_c Q Y (S_o - S) / X(1 + K_d \theta_c)$ $= (10 \times 3,55 \text{ m}^3/\text{hari} \times 0,6 \text{ mgVSS/mgBOD (173 mg/L - 36,31 mg/L)}) / (1800 \text{ mg/L (1 + (0,05 hari}^{-1} \times 10 \text{ hari)})$ $= 2,4 \text{ m}^3$
2. Luas (A)	$= V / H$ $= 2,4 \text{ m}^3/\text{hari} / 2 \text{ m}$ $= 1,2 \text{ m}^2$ $= P \times L$ $= 2L \times L$
3. Lebar (L)	$= \sqrt{\frac{A_{\text{surface}}}{2}}$ $= \sqrt{\frac{1,2}{2}}$ $= 0,77 \text{ m}$
4. Panjang (P)	$= \text{Lebar} \times \text{rasio}$ $= 0,77 \text{ m} \times 2$ $= 1,54 \text{ m}$
5. Kebutuhan luas lahan	$= (P + (2 \times \text{tebal dinding})) \times (L + (2 \times \text{tebal dinding}))$ $= (1,54 \text{ m} + (2 \times 0,25 \text{ m})) \times (0,77 \text{ m} + (2 \times 0,25 \text{ m}))$ $= 2,6 \text{ m}^2$

H. Constructed Wetlands (CWs)

Diketahui:

Direncanakan menggunakan *mixed aquatic plant* dengan reaktor berbeda agar efisiensi penyisihan pencemar yang dihasilkan tinggi.

1. Jumlah (n)	= 2 bak
2. Debit (Q)	= 3,55 m ³ /hari
3. [BOD _{in}] (C _e)	= 173 mg/L
4. [BOD _{ef}] (C _o)	= 2,18 mg/L
5. Suhu (T)	= 25 °C
6. Kedalaman media (d)	= 0,6 m
7. Media yang digunakan	= medium gravel
8. K _s	= 5000 m ³ / m ² .hari
9. α	= 0,4
10. K ₂₀	= 1,104
11. Slope (S)	= 0,01

Perhitungan:

1. Q per bak = Q / n
 $= 3,55 \text{ m}^3/\text{hari} / 2 \text{ bak}$
 $= 1,78 \text{ m}^3/\text{hari}$
2. K_T
 K_{25}
 K_{25}
 $= K_{20} (1,1)^{(T-20)}$
 $= 1,104 (1,1)^{(25-20)}$
 $= 1,778/\text{hari}$
3. t'
 $= -\ln ((C_e/C_o) / K_T)$
 $= -\ln ((173 \text{ mg/L} / 2,18 \text{ mg/L}) / 1,778/\text{hari})$
 $= 3,8 \text{ hari}$
4. Luas permukaan
 $= Q / (K_s \times S)$
 $= 3,55 \text{ m}^3/\text{hari} / (5000 \text{ m}^3/ \text{m}^2 \cdot \text{hari} \times 0,01)$
 $= 0,071 \text{ m}^2 \approx 0,1 \text{ m}^2$
5. Lebar (W)
 $= A_c / d$
 $= 0,1 \text{ m}^2 / 0,6 \text{ m}$
 $= 0,17 \text{ m}$
6. Panjang basin (L)
 $= (t \times Q) / (W \times d \times \alpha)$
 $= (3,8 \text{ hari} \times 3,55 \text{ m}^3/\text{hari}) / (0,17 \text{ m} \times 0,6 \times 0,4)$
 $= 330,6 \text{ m} \approx 331 \text{ m}$
7. Luas lahan per bak
 $= L \times W$
 $= 331 \text{ m} \times 0,17 \text{ m}$
 $= 56,3 \text{ m}^2$
8. Kebutuhan luas lahan
 $= \text{luas lahan per unit} \times \text{jumlah unit}$
 $= 56,3 \text{ m}^2 \times 2$
 $= 112,6 \text{ m}^2 \approx 113 \text{ m}^2$

Perbandingan setiap alternatif pengolahan skala kecil dari segi aspek ekonomi, sosial, dan lingkungan dapat dilihat pada Tabel 4.20.

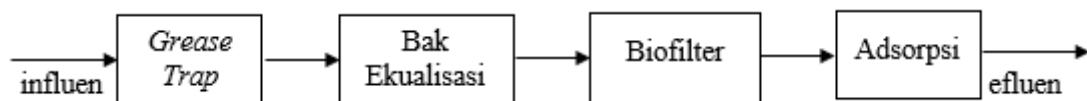
Tabel 4.20 Perbandingan Alternatif Pengolahan Skala Kecil

Metode Pengolahan	Kriteria			
	Kualitas Efluen	Luas Lahan	Kelebihan dan Kekurangan Operasional	Biaya Investasi
Adsorpsi	%Removal: BOD 94,58% COD 98,74% TSS 93,93% TDS 60%	5 m ²	Desain alat sederhana, bahan pembantu proses (adsorben) mudah didapatkan, pengoperasiannya mudah, perlu regenerasi adsorben	Alat sederhana, harga adsorben yang cukup ekonomis dan dapat digunakan berulang kali hingga batas maksimal pemakaiannya, biaya perawatan relatif terjangkau (lebih mahal dari biofilter)

Koagulasi-Flokulasi	% Removal: BOD 72,1% COD 71,61% TSS 99,74%	6 m ²	Pengoperasiannya perlu pengawasan sehingga dibutuhkan Sumber Daya Manusia (SDM) / operator yang memadai di bidang proses kimia	Biaya yang dibutuhkan cenderung lebih tinggi dari pengolahan fisik karena membutuhkan zat kimia sebagai koagulan dan energi listrik dalam pengoperasiannya (lebih mahal dari adsorpsi)
Elektrokoagulasi	% Removal: BOD 63,28% COD 94,48% TSS 99,11% Minyak dan lemak 94,78%	3,75 m ²	Alat sederhana, dan mudah dioperasikan, namun elektroda yang digunakan dalam proses elektrokoagulasi harus diganti secara teratur, tidak membutuhkan bahan kimia	Besarnya reduksi zat pencemar dipengaruhi oleh voltase arus listrik searah elektroda, biayanya cukup mahal karena penggunaan energi listrik yang cukup besar (lebih mahal dari koagulasi-flokulasi)
Advanced Oxidation Processes (AOPs)	% Removal: BOD 73,29% COD 89,23% TSS 63%	3,75 m ²	Pengoperasiannya secara teknis cukup sulit dan menantang	Memerlukan <i>input</i> reagen kimia secara terus-menerus sehingga relatif mahal, menggunakan AOPs saja untuk menangani sejumlah besar air limbah juga tidak efektif dari segi biaya (paling mahal dari ketujuh metode)
Proses Film Mikrobiologis (Biofilm)	% Removal: BOD 73% COD 88,5% Sulfida 77,3%	5,4 m ² (anaerob) 5,2 m ² (aerob)	Pengoperasiannya mudah karena tidak terjadi masalah <i>bulking</i> seperti lumpur aktif, lumpur yang dihasilkan sedikit, tahan terhadap fluktuasi debit air	Biaya murah karena memanfaatkan mikroorganisme dalam prosesnya, energi yang dibutuhkan juga rendah (lebih

			limbah maupun konsentrasi	mahal dari wetland)
Lumpur Aktif (<i>Activated Sludge</i>)	%Removal: BOD 79,03% COD 80,42% Sulfida 61,6%	2,6 m ²	Proses operasional rumit karena perlu pengawasan yang cukup ketat seperti kondisi suhu & <i>bulking control</i> endapan	Biaya investasi relatif mahal karena membutuhkan energi yang besar, serta pengolahan lumpur lebih lanjut (lebih mahal dari elektrokoagulasi)
Constructed Wetlands (CWs)	%Removal: BOD 98,74% COD 89,61% TSS 45% Sulfida 89,51% Minyak lemak 96,71%	113 m ²	Prosesnya sederhana serta berkelanjutan dengan memanfaatkan teknologi alami namun berpotensi menimbulkan bau dan menjadi sarang bagi vektor penyakit	Pengolahan biologis dengan tumbuhan dapat menghemat biaya operasional hingga 50% karena tumbuhan dapat tetap berkembang tanpa memerlukan biaya (paling murah dari ketujuh metode)

Berdasarkan hasil perhitungan kualitas efluen setiap metode pengolahan dan perbandingan setiap alternatif pengolahan, dapat disimpulkan bahwa proses film mikrobiologis (*biofilm*) atau *biofilter* merupakan pengolahan yang ideal untuk Industri Batik Besurek Kelurahan Lempuing karena mampu menyisihkan zat pencemar yang melebihi baku mutu, biayanya murah sebab memanfaatkan mikroorganisme dan tidak membutuhkan energi yang tinggi, kebutuhan luas lahan yang tidak terlalu besar dan tidak menimbulkan bau sehingga cocok diterapkan pada lokasi industri yang berada di pemukiman warga, rasio BOD/COD air limbah juga menunjukkan nilai 0,34 (*medium biodegrade*) maka pengolahan biologis dapat diterapkan. Alternatif pengolahan ini membutuhkan pra-pengolahan *grease trap* karena tingginya kadar minyak dan lemak yang terkandung yaitu 540,7 mg/l. Pengolahan *biofilter* ini dapat dikombinasikan dengan adsorpsi untuk menyisihkan zat warna air limbah batik, dengan cara menambahkan karbon aktif. Diagram alir pengolahan air limbah skala kecil dapat dilihat pada Gambar 4.5, dan perhitungan luas lahan *grease trap* tertera dibawahnya.



Gambar 4.5 Skenario Pengolahan Air Limbah Skala Kecil

Perhitungan luas lahan unit *grease trap*

Diketahui:

1. Debit (Q) = 3,55 m³/hari
2. Waktu detensi (td) = 30 – 60 menit
3. Kedalaman (H) = 0,4 m
4. Tebal dinding = 0,25 m
5. Rasio P : L = 2 (2 : 1)

Perhitungan:

1. Volume bak (V) = Q x td
= 3,55 m³/hari x 50 menit
= 0,12 m³
2. Luas permukaan (A_{surface}) = V / H
= 0,1 m³ / 2 m
= 0,06 m²
3. Lebar bak (L) = (A_{surface} / rasio)^{0,5}
= (0,06 m² / 1)^{0,5}
= 0,25 m
4. Panjang bak (P) = Lebar x rasio
= 0,25 m x 2
= 0,50 m
5. Luas lahan = P x L
= 0,5 x 0,25
= 0,125 m²

Dari perancangan skenario pengolahan yang telah dibuat, didapatkan luas lahan total yang dibutuhkan sebagai berikut:

Tabel 4.21 Kebutuhan Luas Lahan Skenario Pengolahan Kecil

Unit Pengolahan	Luas Lahan	Satuan
Unit <i>grease trap</i>	0,125	m ²
Unit ekualisasi	2,73	m ²
Unit biofilter	10,6	m ²
Unit adsorpsi	5	m ²
Luas Lahan Total	18,45	m²

Sumber: Hasil Perhitungan

Kualitas efluen dari skenario alternatif pengolahan *biofilter* dan adsorpsi tersaji pada Tabel 4.22.

Tabel 4.22 Kualitas Efluen Air Limbah Industri Batik Besurek Kelurahan Lempuing

Alternatif Pengolahan Skala Kecil									
Parameter	Influen	<i>Grease Trap</i>		<i>Biofilter</i>		Adsorpsi		Baku Mutu	
		%R	Efluen	%R	Efluen	%R	Efluen	Proses Basah	Proses Kering
BOD	173,1	0	173,1	73	46,737	94,58	2,54	85	85
COD	509,9	0	509,9	88,5	58,639	97	1,76	250	250

TDS	329	0	329	0	329	60	131,6	2000	2000
TSS	39	0	39	77,3	8,853	93,93	0,533	60	80
Sulfida	0,02	0	0,02	0	0,02	0	0,02	0,3	0,3
Minyak dan Lemak	540,7	92	43,26	56,86	18,66	0	18,66	5	5

Sumber: Hasil Perhitungan

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

BAB V KESIMPULAN

5.1 Kesimpulan

Dari studi pustaka yang telah dilakukan, didapatkan kesimpulan sebagai berikut:

1. Debit dan konsentrasi pencemar air limbah setiap industri batik berbeda-beda, karena tergantung pada jenis proses yang dilakukan serta penggunaan bahan pembantu proses. Air limbah batik pewarna alami maupun sintetis sama-sama mengandung kontaminan yang bersifat toksik dan karsinogen, adapun kontaminan organik yang terdapat dalam air limbah batik meliputi BOD, COD, fenol, minyak dan lemak, serta warna (terdapat yang *biodegradable* dan *non-biodegradable*). Sementara kontaminan anorganik meliputi amonia, sulfida, logam berat krom, besi, tembaga, seng, kadmium, timbal, aluminium, dan pH. Sedangkan TSS dan kekeruhan termasuk dalam kontaminan organik dan anorganik. Hal ini dapat menimbulkan bau yang tidak sedap dan apabila dibuang ke badan air juga dapat merusak estetika karena membuat air berwarna keruh, serta berpotensi besar dalam membahayakan kelangsungan hidup biota air maupun manusia.
2. Terdapat berbagai konfigurasi pengolahan yang dapat digunakan pada air limbah industri batik seperti adsorpsi, koagulasi-flokulasi, elektrokoagulasi, *Advanced Oxidation Processes* (AOPs), proses film mikrobiologis (*biofilm*) atau *biofilter*, lumpur aktif (*activated sludge*), dan *Constructed Wetlands* (CWs).
3. Pemilihan rekomendasi skenario pengolahan yang ideal disesuaikan berdasarkan kualitas air limbah masing-masing dengan mempertimbangkan berbagai aspek yaitu ekonomi, lingkungan, maupun sosial. Dari hasil studi yang dilakukan, dapat direkomendasikan alternatif pengolahan pada setiap studi kasus sebagai berikut:
 - a. Pada studi kasus skala menengah, skenario pengolahan yang direkomendasikan adalah *grease trap* dengan efisiensi penyisihan minyak dan lemak 92%, bak ekualisasi, koagulasi-flokulasi dengan efisiensi penyisihan BOD 72,1%, TSS 71,61%, TSS 99,74%, sedimentasi, serta adsorpsi dengan efisiensi BOD 94,58%, 97%, 93,93%. Adapun setelah perlakuan alternatif pengolahan ini, kontaminan BOD, COD, TSS, minyak & lemak yang semula melebihi baku mutu sudah tersisihkan dengan baik, namun tidak untuk sulfida yang masih melebihi baku mutu.
 - b. Pada studi kasus skala kecil, skenario pengolahan yang direkomendasikan adalah *grease trap* efisiensi penyisihan minyak dan lemak 92%, bak ekualisasi, *biofilter* dengan efisiensi BOD 73%, COD 88,5%, TSS 77,3%, minyak & lemak 56,86%, serta adsorpsi dengan efisiensi BOD 94,58%, COD 97%, TDS 60%, TSS 93,93%. Adapun setelah perlakuan alternatif pengolahan ini, kontaminan BOD, COD yang semula melebihi baku mutu sudah tersisihkan dengan baik, namun tidak untuk minyak & lemak yang masih melebihi baku mutu.

5.2 Saran

Saran yang dapat diberikan antara lain:

1. Perlu dilakukan perencanaan sistem pengolahan air limbah (SPAL) lebih lanjut.

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

DAFTAR PUSTAKA

- Abdillah, A. (2021). Strategi pemasaran produk usaha mikro di Kabupaten Probolinggo pada masa pandemi Covid-19. *Jurnal Pendidikan dan Kewirausahaan*. 9(1), 221-241.
- Achmad, R. (2004). Kimia lingkungan, Edisi 1. *Andi Offset*.
- Aditia, A. (2020). Pengolahan air limbah menggunakan Bioreaktor Membran (BRM). *Jurnal Ilmiah Maksitek*. 5(4), 162-168.
- Afifah, Y., & Mangkoedihardjo, S. (2019). Studi literatur pengolahan air limbah menggunakan *Mixed Aquatic Plants*. *Jurnal Teknik ITS*. 7(1), 228-232.
- Agustiawati, D., & Alfiah, T. (2018). Penurunan BOD₅ dan COD limbah cair industri rumah tangga batik klampar menggunakan lumpur aktif. *Infomatek*. 20(2), 1-6.
- Agustina, T.E. & Badewasta, H. (2009). Pengolahan limbah cair Industri Batik Cap Khas Palembang dengan proses filtrasi dan adsorpsi. *Prosiding Seminar Nasional Teknik Kimia Indonesia*.
- Aliyuddin, A., & Wesen. P. (2018). Pengolahan air buangan industri batik menggunakan Bioreaktor Hibrid bermedia bioball. *Jurnal Ilmiah Teknik Lingkungan*. 8(2), 78-87.
- Almira, V.R. 2018. Perencanaan Instalasi Pengolahan Air Limbah (IPAL) Komunal air limbah batik dari industri kecil menengah di Kota Pekalongan. *Institut Teknologi Sepuluh Nopember*.
- Al Rasyid, M. R. & Asri, R. W. P. (2017). Waste prevention effectiveness of batik production in Yogyakarta, Indonesia. *Springer Science+Business Media Singapore*.
- Anindra, H.O. (2019). Efisiensi removal kadar BOD, COD, TSS dan minyak/lemak menggunakan Biofilter Aerob media bioball pada limbah batik dengan variasi waktu tinggal. *Universitas Brawajaya*.
- Apriyani, N. (2018). Industri Batik: Kandungan limbah cair dan metode pengolahannya. *Media Ilmiah Teknik Lingkungan*. 3(1), 21-29.
- Atima, W. (2015). BOD dan COD sebagai parameter pencemaran air dan baku mutu air limbah. *Journal Biology Science & Education*. 4(1), 83-98.
- Audina, O., & Rahmadyanti, E. (2019). Kinerja hybrid Constructed Wetland sebagai upaya pelestarian sumber daya air pada pengolahan limbah cair industri batik di Sidoarjo. *Jurnal Rekayasa Teknik Sipil*. 4(1), 1-8.
- Avifah, N. N. (2019). Pengolahan limbah cair batik pewarna alami dengan teknik elektrokoagulasi. *Institut Pertanian Bogor*.
- Ayob, S., Norzilla, O., Altowayti, W.A.H., Khalid, F.S., Bakar, N.A., Tahir, M., & Soedjono, E.S. (2021). A review on adsorption of heavy metals from wood-industrial wastewater by oil palm waste. *Journal of Ecological Engineering*. 22(3), 249-265.
- Ayuningtyas, E. (2020). Penurunan kadar warna dan fenol air limbah batik menggunakan metode Advanced Oxidation Processes (aops) berbasis ozon-gac. *Jurnal Rekayasa Lingkungan*. 20(2), 31-37.
- Badan Pusat Statistik (BPS) dikutip dari <http://www.bps.go.id/>, diakses pada 10 April 2022.
- Badan Standarisasi Nasional. (2004). Cara uji kadar fenol secara spektrofotometri. *SNI 06-6989.21-2004*.

- Badan Standarisasi Nasional. (2019). Cara uji Padatan Tersuspensi Total (Total Suspended Solids, TSS) secara gravimetri. *SNI 6989.3:2019*.
- Badan Standarisasi Nasional. (2009). Cara uji sulfida dengan biru metilen secara spektrofotometri. *SNI 6989.70:2009*.
- Badan Standarisasi Nasional. (2008). Tata cara perencanaan unit paket Instalasi Pengolahan Air. *SNI 6774-2008*.
- Balai Besar Kerajinan dan Batik. (1985). Buku panduan pencegahan dan penanggulangan pencemaran industri batik. *Balai Besar Penelitian dan Pengembangan Industri Kerajinan Batik*.
- Badjoeri, M., & Suryono, T., (2002). Pengaruh peningkatan limbah cair organik karbon suksesi bakteri pembentuk bioflok dan kinerja lumpur aktif beraliran kontinyu. *Jurnal LIMNOTEK*. 9(1).
- Belladona, M., Nasir, N., & Agustomi, E. (2019). Perancangan Instalasi Pengolahan Air Limbah (IPAL) Industri Batik Besurek di Kota Bengkulu. *Jurnal Teknologi*. 12(1), 1-8.
- Beulah, S. S., & Muthukumar, K., (2020). Methodologies of removal of dyes from wastewater: A review. *International Research Journal of Pure and Applied Chemistry*. 21(11):68-78.
- Boyd, C.E. (1990). Water quality in ponds for aquaculture. *Auburn University*.
- Devy, B.L., & Haryanto, A.R. (2021). Pengaruh beda potensial dan waktu kontak terhadap penurunan kadar COD dan TSS pada limbah batik menggunakan metode elektrokagulasi. *Jurnal Teknik Kimia USU*. 10(2), 63-69.
- Dewi, R.T.Y., Juliani, Y., & Nurmiyanto, A. (2018). Penurunan kadar BOD, COD, TSS, dan warna limbah industri Kampung Batik Giriloyo menggunakan reaktor kombinasi anaerob-aerob. *Universitas Islam Indonesia*.
- Dinda, S.S. (2018). Perencanaan IPAL pengolahan limbah cair industri pangan skala rumah tangga. *Institut Teknologi Sepuluh Nopember*.
- Direktorat Jenderal Cipta Karya. (2018). Pedoman perencanaan teknik terinci sistem pengolahan air limbah domestik terpusat.
- Doraja, P.H., Shovitri, M., & Kuswytasari, N. D. (2012). Biodegradasi limbah domestik dengan menggunakan inokulum alami dari tangki septik. *Jurnal Sains dan Seni ITS*. 1(1), 45-47.
- Effendi, H. (2003). Telaah kualitas air: Bagi pengelolaan sumberdaya dan lingkungan perairan. *Kanisius*. 258.
- Ellis, J. B., Shutes, R. B. E., & Revitt, D. M. (2003). Guidance manual for constructed wetlands. *Environment Agency*.
- Enjarlis, Hartanto, S., Christwardana, M., Sijabat, B.F., & Fatlan, O.R. (2019). Kombinasi proses elektrokoagulasi – oksidasi lanjut berbasis O₃/GAC pada limbah cair industri batik. *Jurnal Rekayasa Kimia & Lingkungan*. 14(1), 44-52.
- Fauzi, A.R., & Tuhu, A.R. (2018). Kombinasi fenton dan fotokatalis sebagai alternatif pengolahan limbah batik. *Jurnal Envirotek*. 10(1), 37-45.
- Firdaus, M.A., Suherman, S.D.M., Ryansyah, M.H.D., & Sari, D.A. (2020). Teknologi dan metode pengolahan limbah cair sebagai pencegahan pencemaran lingkungan. *Barometer*. 5(2), 232-238.
- Hamzah, M., Rusida, Devi, S., Khotimah, H., Tartila, Isma, N., & Aluf, W. (2021). PKM

- pendampingan strategi usaha mikro dan kecil menengah batik dewi rengganis untuk meningkatkan ekonomi keluarga dan daya saing. *Journal Of Community Engagement*. 2(3), 831-846.
- Hamzuri. (1989). Batik Klasik. *Djambatan*.
- Hastutiningrum, S., & Purnawan. (2017). Pra-rancangan Instalasi Pengolahan Air Limbah (IPAL) Industri Batik (Studi kasus Batik Sembung, Sembungan RT.31/RW.14, Gulurejo, Lendah, Kulonprogo). *Eksergi*. 14(2), 52-62.
- Hidayat, N., Pangestuti, M.B., Utami, R.N., & Suhartini, S. (2021). Potensi limbah cair batik sebagai sumber bioenergi (Studi kasus di UKM Batik Blimbing Malang). *AgriTECH*. 41(4), 305-315.
- Hlavinek, P., Bonacci, O., Marsalek, J., & Mahrikova, I. (2007). Dangerous pollutants (xenobiotics) in urban water cycle. *Lednice, Czech Republic*.
- Holt, P.K., Barton, G.W., Wark, M., & Mitchell, C.A. (2002). A quantitative comparison between chemical dosing and electrocoagulation. *Colloids and Surfaces A: Physicochem. Eng. Aspects*. 211(2-3), 233-248.
- Husnabilah, A. (2012). Perencanaan *Constructed Wetland* untuk pengolahan *greywater* menggunakan tumbuhan *Canna Indica* (Studi Kasus: Kelurahan Keputih Surabaya). *Institut Teknologi Sepuluh Nopember*.
- Imtiyaz, I., Rezagama, A., & Luvita, V. (2016). Pengolahan BOD, COD, TSS dan pH pada Limbah Industri MSG (*Monisodium Glutamate*) menggunakan teknologi *Advanced Oxidation Processes* (O_3/H_2O_2 dan Fenton). *Jurnal Teknik Lingkungan*. 5(1), 1-9.
- Jayalekshmi, S.J., Biju, M, Somarajan, J., Ajas, P.E.M., & Sunny, D. (2021). Wastewater treatment technologies: A review. *International Journal of Engineering Research & Technology*. 9(9), 9-12.
- Kementerian Perindustrian Republik Indonesia. (2020). Dilanda pandemi, ekspor batik indonesia mampu tembus USD 21,5 juta. <https://www.kemenperin.go.id/artikel/22039/Dilanda-Pandemi,-Ekspor-Batik-Indonesia-Mampu-Tembus-USD-21,5-Juta>.
- Khalish, M. (2021). Pengendalian pencemaran air oleh limbah cair industri tekstil menggunakan metode *Constructed Wetland* di Kecamatan Pringsurat, Kabupaten Temanggung, Jawa Tengah. *Universitas Pembangunan Nasional "Veteran" Yogyakarta*.
- Kurniawan, D. 2022. Perancangan bangunan pengolahan air limbah domestik. *UPN Veteran Jawa Timur*.
- Kurniawan, M.W., Purwanto, P., & Sudarno, S. 2013. Strategi pengelolaan air limbah Sentra UMKM Batik yang berkelanjutan di Kabupaten Sukoharjo. *Jurnal Ilmu Lingkungan*. 11(2), 62-72.
- Indrayani, L. 2018. Pengolahan limbah cair industri batik sebagai salah satu percontohan IPAL Batik di Yogyakarta. *Ecotrophic*. 12(2), 173-184.
- Indrayani, L., & Triwiswara, M. 2018. Efektivitas pengolahan limbah cair industri batik dengan teknologi lahan basah buatan. *Dinamika Kerajinan dan Batik*. 35(1), 53-66.
- Lagan, F., Saputra, E., & Chairul. 2017. Degradasi zat warna artifisial limbah tekstil dengan *Advanced Oxidation Processes* menggunakan katalis nanopartikel Ce/Karbon. *Jurnal Online Mahasiswa Fakultas Teknik Universitas Riau*. 4(1), 1-5.

- LaOde, N. 2011. Penghilangan ion sulfida dari limbah cair menggunakan absorben Fe-Kitosan. *Universitas Brawijaya*.
- Listiana, V. 2013. Analisis kadar logam Berat Kromium (Cr) dengan ekstraksi pelarut asam sulfat (H₂SO₄) menggunakan Atomic Absorption Spectrofotometry (AAS) di SungaiDonan (Cilacap) pada jarak 2 km sesudah PT. Pertamina. *Institut Agama Islam Negri Walisongo*.
- Maharani, V.S. (2017). Studi literatur: Pengolahan minyak dan lemak limbah industri. *Institut Teknologi Sepuluh Nopember*.
- Martini, S., Yuliwati, S., & Kharismadewi, D. (2020). Pembuatan teknologi pengolahan limbah cair industri. *Distilasi*. 5(2), 26-33.
- Martuti, N.K.T., Hidayah, I., Margunani, Forestyanto, Y.W., & Mutiatari, D.P. (2020). Batik pewarna alam : Studi kasus di Zie Batik Semarang. *Universitas Negeri Semarang*.
- Mauliddin, B.K. (2011). Kualitas limbah batik pewarna alami dan toksisitas terhadap larva udang (*Artemia Salina Leach*). *Institut Pertanian Bogor*.
- Metcalf & Eddy. (1991). Wastewater engineering: Treatment, disposal, reuse (3rd ed). *McGraw-Hill Book*.
- Metcalf & Eddy. (2004). Wastewater engineering, treatment and reuse (4th ed). *McGraw-Hill Book*.
- Mihelcic, J.R.et.al. (1999). Fundamental of environmental engineering. *John Wiley & Sons, Inc*.
- Mubin, F. (2016). Perencanaan sistem pengolahan air limbah domestik di Kelurahan Istiqlal Kota Manado. *Jurnal Sipil Statik*. 4(3), 211-223.
- Muruganandham, M., & Swaminathan, M. (2006). Advanced oxidative decolourisation of reactive yellow 14 azo dye by UV/TiO₂, UV/H₂O₂, UV/H₂O₂/Fe²⁺ processes - a comparative study. *Separation and Purification Technology*. 48(3), 297-303.
- Mutiara, W.P. (2009). Efektivitas metode elektrokoagulasi dengan berbagai variasi jumlah lempeng besi dalam menurunkan kandungan BOD, COD, dan TSS pada air limbah industri batik "CV. Batik Indah Raradjonggrang" Yogyakarta. *Universitas Diponegoro*.
- Natalina, & Firdaus, H. (2017). Penurunan kadar kromium heksavalen (Cr⁶⁺) dalam limbah batik menggunakan limbah udang (kitosan). *Teknik*. 38(20), 99-102.
- Nawawi, E. (2018). Jangan sebut itu "Batik Printing" karena batik bukan printing. *Melayu Arts and Performance Journal*. 1(1), 25-36.
- Nilasari, N.I., Wulandari, S.N., & Susilowati. (2020). Penurunan COD, TDS, TSS, warna pada limbah batik dengan berbagai jenis koagulan. *Seminar Nasional Teknik Kimia Soebardjo Brotohardjono XVI*. 1-8.
- Ningrum, A.S., & Nurhadi, Y. (2018). Penerapan produksi bersih pada industri batik sumurgung di Kabupaten Tuban. *Institut Teknologi Sepuluh Nopember*.
- Nurdalia, I. (2006). Kajian dan analisis peluang penerapan produksi bersih pada usaha kecil batik cap. *Universitas Diponegoro*.
- Nurlela. (2018). Pengolahan air limbah pewarna sintetis dengan metode adsorpsi dan ultraviolet. 3(2), 44-50.
- Patel. H., & Vashi, R.T. (2015). Characterization and treatment of textile wastewater. *Elsevier Inc*.

- Peraturan Daerah Istimewa Yogyakarta Nomor 7 Tahun 2016 Tentang Baku Mutu Air Limbah.
- Prayitno, H. (2006). Pengaruh pasokan limbah cair tekstil PT. Batik Keris Sukoharjo terhadap perubahan suhu, pH, DO, BOD, NO₃, Ca, Mg dan plankton di Sungai Premulung Surakarta. *Universitas Sebelas Maret*.
- Purwaningsih, I. (2008). Pengolahan limbah cair industri batik CV. Batik Indah Raradjonggrang Yogyakarta dengan metode elektrokoagulasi ditinjau dari parameter Chemical Oxygen Demand (COD) dan warna. *Universitas Islam Indonesia*.
- Purwaningsih, D.Y., Wulandari, I.A., & Aditya, A.W. (2021). Pemanfaatan cangkang telur ayam sebagai biosorben untuk penurunan COD pada limbah cair pabrik batik. *Seminar Nasional Teknologi Industri Berkelanjutan I*. 507-512.
- Putri, A.G.K. (2016). Representasi industri batik dalam pengelolaan lingkungan (Studi kasus pada masyarakat industri batik Di Desa Pilang Kecamatan Masaran Kabupaten Sragen). *Universitas Sebelas Maret*.
- Rachma, R., Aryanta, I.W., & Kasa, I.W. (2012). Penggunaan lumpur aktif untuk menurunkan kadar Biological Oxygen Demand (BOD), Chemical Oxygen Demand (COD), Dan logam berat jenis Timbal (Pb) dan Cadmium (Cd) pada limbah cair pencelupan industri batik. *ECOTROPHIC*. 7(2), 164-172.
- Radityaningrum, A.D., & Caroline, J. (2017). Penurunan BOD₅, COD dan TSS pada limbah cair industri batik dengan koagulan PAC pada proses koagulasi flokulasi. *Seminar Nasional Sains dan Teknologi Terapan V*. 1-6.
- Ratih, Y.W. (2014). Limbah industri batik menggunakan pewarna alam: Amankah bagi lingkungan?. *Universitas Pembangunan Nasional "Veteran" Yogyakarta*.
- Ratih, Y.W., Santosa, P.B., & Muryani, E. (2016). Pengaruh limbah industri batik menggunakan pewarna alami dari Desa Wukirsari terhadap viabilitas bakteri tanah. *Eksergi*. 13(2), 7-13.
- Riwayati, I., Hartati, I., Purwanto, H., & Suwardiyono. (2014). Adsorpsi logam berat timbal dan kadmium pada limbah batik menggunakan biosorbent pulpa kopi terxhantasi. *Prosiding Seminar Aplikasi Sains & Teknologi*.
- Rochma, N., & Titah, H.S. (2017). Penurunan BOD dan COD limbah cair industri batik menggunakan karbon aktif melalui proses adsorpsi secara batch. *Jurnal Teknik ITS*. 6(2), 324-329.
- Rosydiana, Nugroho, W.A., Kurniati, E. (2015). Rancang Bangun kinerja alat adsorpsi limbah cair pewarnaan Industri Batik Tulis Sidoarjo. *Jurnal Keteknikan Pertanian Tropis dan Biosistem*. 3(3), 356-363.
- Rožić M, Cerjan-Stefanović Š, Kurajica S, Vančina V, Hodžić E. (2000). Ammoniacal nitrogen removal from water by treatment with clays and zeolites. *Water Research*. 34(14), 3675- 3681.
- Rusydi, A.F., Suherman, D., & Sumawijaya, Y. (2017). Pengolahan air limbah tekstil melalui proses koagulasi – flokulasi dengan menggunakan lempung sebagai penyumbang partikel tersuspensi studi kasus: Banaran, Sukoharjo dan Lawean, Kerto Suro, Jawa Tengah. *Arena Tekstil*. 31(2), 105-114.
- Said. N.I., & Santoso, T.I. (2000). Teknologi pengolahan air limbah dengan proses biofilm tercelup. *Jurnal Teknologi Lingkungan*. 1(2), 101-113.

- Said, N. I. (2002). Teknologi pengolahan limbah cair dengan proses biologis, teknologi pengolahan limbah cair industri. 79-147. *BPPT-BAPEDALDA Samarinda*.
- Said, N. I. (2017). Teknologi pengolahan air limbah. *Erlangga*.
- Saptarini, D. (2009). Pengolahan Limbah Cair Industri Batik dengan Metode Koagulasi-Flokulasi dan Adsorpsi Sistem *Batch*. *Universitas Gadjah Mada*.
- Saraswati, A.D.I. (2020). Pengaruh Waktu Dan Voltase Pada Elektrokoagulasi Limbah Cair Batik Menggunakan Al/Cu. *Universitas Muhammadiyah Surakarta*.
- Sari, N.C., Nugraha, I. (2017). Study of Batik Wastewater Treatment Using PAC (Poly Aluminum Chloride) as Coagulant and Organoclay (Montmorillonite-polydadmac) as Flocculant to Reduce Total Suspended Solid (TSS) and Total Dissolved Solid (TDS). *Proceeding International Conference Science Engineering*. 1, 125-130.
- Sari, N.K., & Susanti, D.O. (2018). Perlindungan Hukum Bagi Pemilik Karya Cipta Batik Tulis Dewi Rengganis di Desa Jatiurip Kecamatan Krejengan Kabupaten Probolinggo. *SASI*. 24(2), 124-137.
- Setyowati, S. & Winantu, A. (2016). IBM Industri Batik Wijirejo sebagai Sentra Batik. *STIKes Surya Global*.
- Sievers, M. (2011). Advanced Oxidation Processes. Clausthal-Zellerfeld : *Elsevier*.
- Siregar, A.P., Raya, A.B., Nugroho, A.D., Indana, F., Prasada, I.M.Y., Andiani, R., Tampubolon, T.G., & Kinasih, A.T. (2020). Upaya Pengembangan Industri Batik Di Indonesia. *Dinamika Kerajinan dan Batik: Majalah Ilmiah*. 37(1), 79-92.
- Sitorus, E., Sutrisno, E., Armus, R., Gurning, K., Fatma, F., Parinduri, L., Chaerul, M., Marzuki, I., & Priastomo, Y. (2021). Proses Pengolahan Limbah. *Kita Menulis*.
- Sugiharto, A., Hoyali, I., Ghifari, A.F.A., & Nabilla, T.H. (2020). Effect of Contact Time of Rice Husk Ash and Poly Aluminum Chloride. *CHEMICA : Jurnal Teknik Kimia*. 7(1), 77-81.
- Sukmawati, A. (2020). Analisis Penerapan *Total Quality Environmental Management* Pada Proses Pengelolaan Limbah Cair Produksi: Studi Kasus Pada Rumah Industri Batik Dewi Rengganis. *Universitas Jember*.
- Sumantri, I., Sumarno, A., Nugroho., Istad, I., & Buchori, L. (2006). Pengolahan Limbah Cair Industri Kecil Batik dengan Bak Anaerobik Bersekat (*Anaerobic Baffled Reaktor*). *Universitas Diponegoro*.
- Sunarto. (2008). Teknik Pencelupan dan Pencapan Jilid 3. *Direktorat Pembinaan Sekolah Menengah Kejuruan*.
- Susanto, S.K.S. (1973). Seni Kerajinan Batik Indonesia. *Balai Penelitian Batik dan Kerajinan, Lembaga Penelitian dan Pendidikan, Industri Departemen Perindustrian R.I*.
- Susanto, S.K.S. (1980). Seni Kerajinan Batik Indonesia. Yogyakarta: *Balai Penelitian Batik dan Kerajinan, Lembaga Penelitian dan Pendidikan, Industri Departemen Perindustrian R.I*.
- Suprihatin, H. (2014). Kandungan Organik Limbah Cair Industri Batik Jetis Sidoarjo dan Alternatif Pengolahannya. *Jurnal kajian Lingkungan*. 130-138.
- Triwiswara, M. (2019). Efficiency Assessment of Batik Industry Wastewater Treatment Plant in Center for Handicraft and Batik Indonesia. *Advances in Engineering Research*. 187:118-123.

- Triwiswara, M. (2019). Penurunan BOD dan COD pada Limbah Cair Industri Batik dengan Sistem Constructed Wetland Menggunakan Tanaman *Hippochaetes lymenalis*. *Prosiding Seminar Nasional Industri Kerajinan dan Batik*. 1-11.
- Utami, S.A., Hardyanti, N., & Syakur, A. (2019). Pengolahan Limbah Cair Hasil Home Industry Batik dengan Metode Ozonasi, Ionisasi, dan Kombinasi Terhadap Parameter BOD dan Warna. *Universitas Diponegoro*.
- Wardhana, W. A. (2001). Dampak Pencemaran Lingkungan. *Andi Offset*.
- Wijaya, I. M. W. & Soedjono, E. S. (2014). Physicochemical characteristic of municipal wastewater in tropical area: Case study of Surabaya City, Indonesia. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*. 135, 1-6.
- Yayasan Kadin Indonesia. (2008). Buku Panduan Pengelolaan Lingkungan pada Industri Perbatikan. *Yayasan Kadin Indonesia bekerjasama dengan Forum Masyarakat Batik Indonesia*.
- Yuliana. (2021). Strategi Pengolahan Limbah Batik : Studi Pustaka. *Prosiding Seminar Nasional Industri Kerajinan dan Batik*. 1-7.
- Yunitasari, V., Elystia, S., & Andesgur, I. (2017). Metode Elektrokoagulasi untuk Mengolah Limbah Cair Batik di Unit Kegiatan Masyarakat Rumah Batik Andalan PT. Riau Andalan Pulp and Paper (RAPP). *Jom F TEKNIK*. 4(1), 1-9.
- Zuhria, F., Sarto, & Prasetyo, I. (2018). The Influence of Electrocoagulation on The Reduction of COD, BOD, And TSS Of Batik Industry Wastewater. *Journal of Environment and Sustainability*. 2(2), 100-107.

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

BIODATA PENULIS



Penulis bernama lengkap Priscilia Maharani yang lahir di Magetan pada tanggal 10 Juli 2000. Penulis telah menempuh pendidikan formal di TK Al-Iman Surabaya, SDIT Al-Uswah Surabaya, SMP Negeri 19 Surabaya dan SMA Negeri 17 Surabaya. Penulis kemudian melanjutkan pendidikan S1 di Departemen Teknik Lingkungan FTSPK Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya pada tahun 2018 dan terdaftar dengan NRP 03211740000071.

Semasa kuliah di Departemen Teknik Lingkungan, penulis aktif dalam organisasi Himpunan Mahasiswa Teknik Lingkungan (HMTL) Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS) Surabaya sebagai staf Manajemen Bisnis Divisi Kewirausahaan pada tahun 2020 dan pada periode 2021 sebagai Kepala Bidang Manajemen Pengembangan Divisi Kewirausahaan. Penulis berharap laporan tugas akhir ini dapat menjadi literatur yang baik mengenai pengolahan air limbah industri batik. Penulis dapat dihubungi melalui email prisciliaamhrn@gmail.com

“Halaman ini sengaja dikosongkan”