

BAB II. TINJAUAN PUSTAKA

2.1. Industri batik

Batik merupakan salah satu jenis industri tekstil yang biasanya berskala kecil menengah dan dikerjakan di rumah-rumah produksi. Sebagai warisan seni adiluhung budaya asli Indonesia, batik dikembangkan dengan menonjolkan motif dan ragam hias khas dari masing-masing daerah. Pengembangan industri batik memiliki dampak positif dan negatif. Dampak positif dari adanya industri batik adalah terjaganya kelestarian warisan seni budaya dan menggiatkan perekonomian masyarakat, namun di sisi lain industri batik memiliki dampak negatif dengan adanya air limbah yang dihasilkan dari proses produksi yang menggunakan pewarna dan lilin. Penggunaan lilin merupakan pembeda utama antara batik dan industri tekstil jenis yang lain

Di Semarang Jawa Tengah terdapat cukup banyak pengrajin batik dengan ciri khas motif-motif Semarangan. Pengrajin ini seluruhnya merupakan industri kecil dan tersebar di beberapa wilayah. Salah satu yang patut mendapat perhatian adalah Sanggar Batik Semarang 16 yang berlokasi di Meteseh, Tembalang. Sanggar Batik Semarang 16 memiliki *workshop* sebagai tempat produksi, dan sering menjadi tujuan pelatihan ketrampilan membatik bagi masyarakat serta sering mendapat kunjungan baik dari instansi pemerintah maupun swasta sebagai tempat studi banding maupun *study tour*. Sanggar ini telah memberdayakan masyarakat sekitarnya sebagai tenaga kerja dalam pembuatan batik.

Pada proses pembuatan batik, dihasilkan limbah cair berwarna pekat yang terutama berasal dari proses pewarnaan dan pelorodan. Dalam proses pewarnaan, IKM ini menggunakan pewarna sintesis jenis naphtol dan indigosol, serta pewarna alam. Pelorodan menghasilkan cairan yang mengandung lilin, debit air limbah yang dihasilkan adalah 4 m³/hari.

2.2. Air limbah industri batik

Menurut Handayani *et al.* (2016), air limbah dari IKM batik Semarang 16 memiliki karakteristik mengandung polutan dengan jenis parameter dan kualitas seperti yang termuat dalam Tabel 2 berikut ini.

Tabel 2. Hasil analisis karakteristik awal air limbah

No	Sumber Limbah	Debit (L/hr)	COD (mg/L)	BOD (mg/L)	pH
Pewarna alam					
1.	Mordan	360	-	-	-
2.	Pencucian setelah mordan	250,3	-	-	-
3.	Pencucian setelah fiksasi	448	331,5	165,9	7,2
4.	Pelorodan	197	6838	178,7	10,2
5.	Pencucian setelah pelorodan	250,3	784,2	298,6	9,5
Pewarna sintetis					
1.	Pewarnaan	400	721	132,8	8,8
2.	Pencucian setelah pewarnaan	393,9	214,2	172,4	9,9
3.	Pelorodan	196,9	71000	2303	9,7
4.	Pencucian printing	508	80	-	-
5.	Pencucian Plankan	100	104	-	-

Hasil analisis air limbah campuran total pada 0 jam dan 24 jam setelah proses pengendapan sesuai dengan persentase kontribusinya tercantum dalam Tabel 3 di bawah ini.

Tabel 3. Hasil analisis air limbah campuran

No	Parameter	Satuan	Hasil Analisis	
			0 Jam	24 jam
1.	Temperatur	-	29	29
2.	Zat padat tersuspensi	mg/L	2461	815
3.	BOD 5	mg/L	1105	762,5
4.	COD	mg/L	7858	4466
5.	Phenol total	mg/L	0,058	0,022
6.	Khrom total	mg/L	<0,010	<0,010
7.	Amonia total	mg/L	1,725	1,125
8.	Sulfida (sebagai S)	mg/L	5,030	3,520
9.	Minyak dan lemak	mg/L	2,50	1,40

10. pH	mg/L	9,1	
11. MBAS	mg/L	0,383	0,185

Hasil analisis parameter air limbah setelah didiamkan selama 24 jam mengalami penurunan dibanding dengan hasil analisis sesaat. Kondisi cairan mengalami penggumpalan dan pengendapan yang disebabkan terjadinya proses koagulasi karena tawas atau aluminium sulfat yang digunakan pada proses pewarnaan alam, namun demikian air limbah tersebut masih harus diolah karena konsentrasi polutan di dalamnya yang masih tinggi.

2.3. Sistem aerobik granul

Aerobik granul merupakan salah satu jenis sistem pengolahan air limbah secara biologi. Aerobik granul dikembangkan dengan mengubah biosolid pada *activated sludge* yang umumnya berbentuk flok yang ringan menjadi bentuk granul yang lebih kompak dan padat. Dibandingkan dengan flok biologi konvensional aerobik granul memiliki karakter struktur yang lebih kompak dan padat, waktu tinggal biomassa yang lebih tinggi, serta lebih tahan terhadap *shock loading* dan senyawa toksik (Ho *et al.*, 2010).

Menurut Show *et al.* (2012) karakteristik granul dapat dibedakan menjadi 3 kategori yaitu karakter fisik, biologi dan kimia. Karakter fisik granul meliputi kecepatan pengendapan, kekuatan fisik yang dinyatakan dengan integritas koefisien, karakteristik hidraulik, ukuran dan kepadatan granul (densitas). Karakter kimia granul meliputi hidrofobisitas, aktivitas mikrobial yang dinyatakan dengan SOUR (*specific oxygen utilization rate*). Karakter biologi meliputi struktur mikrobial granul serta diversitas mikroba penyusun granul. Granulasi pada pembentukan aerobik granul merupakan proses evolusi yang progresif dari kumpulan mikroba yang berbentuk flok ringan menjadi granul yang padat. Tidak seperti proses granulasi anaerobik yang terjadi secara spontan, granulasi secara aerobik dapat dikembangkan dengan mengontrol beban dan strategi kondisi operasi. Dilaporkan bahwa proses granulasi secara aerobik dipengaruhi oleh berbagai macam faktor yaitu bibit mikroba, komposisi substrat, laju beban

organik, strategi *feeding*, design reaktor dan hidrodinamik, waktu pengendapan, intensitas aerasi serta *exchange ratio*.

Sistem operasi aerobik granul adalah SBR (*Sequencing Batch Reactor*) yang terdiri dari proses *feeding*, aerasi, pengendapan, dan pengeluaran efluen. Beberapa hasil riset mengungkapkan bahwa DO (*Dissolved oxygen*) pada proses granulasi secara aerobik dapat diberikan dengan konsentrasi yang rendah 0,7-1 mg/L, maupun dengan konsentrasi yang tinggi 2-6 mg/L (Qin *et al.*, 2004). Sebagian besar aerobik granul dikembangkan pada temperatur ruang (20-25°C). pH reaktor memiliki pengaruh yang besar terhadap pertumbuhan mikroba. Proses granulasi pada pH 4 menghasilkan granul yang didominasi oleh fungi dengan ukuran granul yang besar, granulasi pada pH 8 menghasilkan granul yang didominasi bakteri dengan ukuran granul yang lebih kecil (Williams dan Reyes, 2006 ; Yang *et al.*, 2008)

Aerobik granul telah digunakan dalam pengolahan berbagai jenis air limbah, diantaranya yaitu air limbah dengan beban organik yang tinggi, air limbah yang mengandung fenol dan piridin, air limbah yang mengandung nitrogen maupun senyawa fosfat. Stabilitas granul dipengaruhi oleh beberapa faktor diantaranya adalah adanya mikroorganisme filamen yang terbentuk karena DO yang rendah. Selain itu terjadinya proses degradasi anaerobik dan lamanya *starvation period* juga dapat mempengaruhi kestabilan granul. Beberapa strategi yang disarankan Show *et al.* (2012) untuk meningkatkan stabilitas granul dalam praktek operasi adalah dengan :

- a) Mengaplikasikan OLR (*Organik loading rate*) dan DO yang tepat
- b) Mengusahakan pertumbuhan mikroorganisme yang lambat
- c) Memperkuat inti granul
- d) Menghambat terjadinya proses anaerobik

Beberapa literatur mengungkapkan bahwa tidak ada satu spesies mikroorganisme yang mampu mendegradasi polutan secara sempurna, degradasi sempurna melibatkan interaksi dari beberapa jenis spesies. Oleh sebab itu

granular sludge diharapkan dalam pengolahan air limbah karena sejumlah besar organisme dapat dipertahankan dalam reaktor (Li *et al.*, 2014).

Menurut (Garucci *et al.*, 2009) aerobik granul berbeda dengan anaerobik granul yang kurang cocok untuk mereduksi polutan nutrisi dalam air limbah. Selain mereduksi polutan berupa zat organik, aerobik granul juga dapat digunakan untuk mereduksi polutan jenis nutrisi dalam air limbah terutama nitrogen, fosfor dan juga senyawa toksik. Tay *et al.* (2004), menyebutkan bahwa aerobik granul dapat mendegradasi air limbah yang mengandung senyawa fenol dengan laju degradasi 0,53 gr fenol/gram VSS/hari. Jiang *et al.* (2006) melaporkan degradasi fenol dengan aerobik granul mencapai 1,4 gr fenol/gram VSS/hari.

Aerobik granul memiliki struktur/ikatan mikroba yang lebih kuat serta memiliki kemampuan pengendapan yang lebih baik daripada *conventional activated sludge*. Karakteristik tersebut menyebabkan aerobik granul memiliki waktu tinggal biomassa yang lama dan tahan terhadap beban pencemaran yang tinggi. Lopez *et al.* (2009) mengembangkan aerobik granul untuk proses degradasi air limbah industri *wine* dengan OLR mencapai 6 Kg COD/m³/hari. Salah satu ciri spesifik dari aerobik granul adalah kecepatan pengendapannya. Granul dapat mengendap dengan kecepatan hingga 25-70 m/jam dimana lebih tinggi daripada flok yang umumnya hanya memiliki kecepatan pengendapan 7-10 m/jam. Kemampuan mengendap suatu *sludge* dapat ditingkatkan secara signifikan melalui pembentukan granul yang memungkinkan peningkatan waktu tinggal biomassa di dalam reaktor dan menghasilkan efisiensi degradasi organik yang tinggi serta kestabilan reaktor. Dengan adanya kecepatan pengendapan yang tinggi akan memungkinkan reaktor dioperasikan dengan aliran hidraulik yang lebih tinggi pula, sehingga dapat menghasilkan desain reaktor yang lebih kompak (Show *et al.*, 2012).

Beberapa literatur menyebutkan bahwa proses granulasi secara aerobik dipengaruhi oleh beberapa faktor antara lain bibit *sludge*, DO, komposisi substrat, OLR, *feeding strategy*, desain reaktor, *shear hydrodinamis*, waktu pengendapan, dan intensitas aerasi (Adav *et al.*, 2008 ; Nancharaiah, 2017 ; Zhang *et al.*, 2013 ;

Sturm *et al.*, 2008 ; Parinita, 2012). Jenis substrat akan menentukan diversitas dan dominansi dari jenis bakteri, permukaan dan struktur dari granul yang akan dihasilkan. Aerobik granul dapat ditumbuhkan pada OLR antara 2,5 sampai 15 Kg COD/m³/hari (Xiang *et al.*, 2009).

Aerobik granul dapat disimpan dalam beberapa waktu dan dapat digunakan kembali melalui proses aktivasi. Penyimpanan aerobik granul pada suhu beku (-20 °C) dapat mempertahankan aktivitas dan kesatuan struktur aerobik granul (Adav *et al.*, 2008 ; Wang *et al.*, 2008). Sementara itu Zhu (2004) menyatakan bahwa butiran aerobik granul tetap stabil sekalipun telah disimpan selama 2 tahun di air keran pada suhu sekitar (16-26 ° C).

2.4 Aplikasi sistem aerobik granul

Sistem aerobik granul telah digunakan dalam pengolahan berbagai jenis air limbah. Garucci *et al.* (2009) telah menggunakan aerobik granul untuk mendegradasi air limbah mengandung polutan toksik *chlorophenol* dengan natrium acetat sebagai co-substrat. Konsentrasi influen 4CP adalah antara 0 sampai 50 mg/L, dengan OLR maksimum adalah sebesar 0.32 Kg COD-4CP/m³ hari.

Li *et al.* (2014) menggunakan aerobik granul untuk mengolah air limbah yang terdiri dari komposisi air limbah domestik sebanyak 30 % dan air limbah industri sebanyak 70 % yang berasal dari industri percetakan, pewarnaan, kimia dan makanan minuman pada skala laboratorium, *pilot project* dan skala aplikasi lapangan dengan menggunakan SBR. Hasil penelitian menunjukkan bahwa dengan sistem aerobik granul menggunakan SBR pada ketiga jenis penelitian tersebut berhasil membentuk granul dengan performa removal polutan yang efektif. Sistem aerobik granul juga telah digunakan dalam pengolahan air limbah industri tekstil. Muda *et al.* (2010) mengolah air limbah tekstil sintetis dengan menggunakan granul yang dapat berfungsi pada keadaan anaerob maupun aerob dalam satu reaktor dengan menggunakan *seed* yang berasal dari campuran granul anaerob dan *sludge*. Mikroba anaerob memungkinkan berada pada granul karena oksigen hanya menembus sebagian butiran selama tahap aerasi. *Sludge* yang digunakan

berasal dari IPAL domestik dan industri tekstil sedangkan granul anaerob diperoleh dari reaktor UASB industri kertas.

Franca *et al.* (2015) telah meneliti degradasi senyawa azo pada air limbah tekstil sintetis menggunakan aerobik granul pada SBR dengan tahap anaerobik-aerobik. Penelitian ini menggunakan 2 buah reaktor AGS-SBR (*Aerobic granular sludge-Sequencing batch reactor*) dengan volume operasi 1,5 L dan rasio ketinggian/diameter reaktor adalah 2,5. Aerobik granul berasal dari IPAL domestik, reaktor dijalankan dengan siklus 6 jam, dimana terdiri dari 1,5 jam merupakan fase anaerobik dengan pencampuran mekanik dilanjutkan dengan 3,5 jam fase aerobik. Waktu pengisian umpan adalah 18 menit dengan penambahan zat warna tekstil adalah 1,5 menit terakhir dari total waktu pengisian umpan. Waktu pengendapan ditentukan selama 5 menit, dan pengeluaran efluen selama 1 menit. pH dalam sistem tidak dikontrol selama proses operasi dengan nilai yang bervariasi yaitu 6,5-6,7.

Sarvajith *et al.* (2017) melakukan penelitian biodecolorisasi senyawa azo dan removal amonia dengan menggunakan sistem pengolahan air limbah AGS (*Aerobic Granular Sludge*). AGS efektif untuk proses decolorisasi senyawa azo pada kondisi anaerobik dan *microaerophilic*. Efisiensi removal senyawa azo, TOC (*Total Organic Carbon*) dan amonia-nitrogen masing masing mencapai 89 - 100%, 79- 95% dan 92 - 100% selama 80 hari operasi reaktor. Disebutkan bahwa removal karbon, nitrogen dan fosfor tidak dipengaruhi oleh beban senyawa azo. *Azo dye*, karbon organik dan amonia sebagian besar didegradasi pada kondisi anoksik dimana jumlah oksigen terlarut pada kondisi ini adalah sebesar 0,5 sampai <0,08 mg/L. Penelitian ini menggunakan SBR dengan volume operasi 3L dengan umpan asetat dan air limbah tekstil sintetis. Reaktor diinokulasi dengan menggunakan *activated sludge* dan dioperasikan dengan siklus 6 jam dan 67% *volume exchange ratio*. Siklus terdiri dari 60 menit pengisian statis, 270 menit aerasi, 5 menit pengendapan, 10 menit pengeluaran efluen dan 15 menit fase istirahat. Aerasi diberikan dengan kecepatan alir udara sebesar 1.2 cm s⁻¹. Setelah 45 hari operasi AGS kemudian digunakan untuk eksperimen proses penghilangan senyawa azo. Dijelaskan pada hasil penelitian ini bahwa removal azo disebabkan

karena adanya kombinasi proses *decolorisasi* dan mekanisme biodegradasi. *Aerobic Granular Sludge* (AGS) yang terbentuk pada kondisi *microaerophilic* memiliki struktur mikroba yang kompak dan karakteristik pengendapan yang bagus.