

BAB 2

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Karakteristik Limbah Industri

Air limbah industri tekstil (batik) merupakan salah satu limbah cair yang memiliki banyak permasalahan karena memiliki kandungan yang bermacam-macam dan terdiri dari bahan kimia yang sulit untuk diurai. Bahan kimia penyusun limbah cair industri tekstil (batik) didominasi oleh zat pewarna yang bersifat sintetis. Hal tersebut akan menyebabkan adanya pencemaran pada badan air apabila air limbah cair tersebut tidak diolah terlebih dahulu. Karakteristik air limbah dengan parameter BOD, COD, TSS, Fenol, Kromium, serta Minyak dan Lemak yang relatif tinggi menurut Baku Mutu Air Limbah pada Peraturan Daerah Provinsi Jawa Tengah Nomor 5 Tahun 2012 adalah sebagai berikut:

2.1.1 Derajat Keasaman (pH)

Rentang pH yang cocok untuk keberadaan kehidupan biologis yang paling sesuai adalah 6 – 9. Limbah dengan tingkat keasaman (pH) ekstrim sulit diolah secara biologi. Jika tingkat keasaman (pH) tidak diolah sebelum dialirkan, maka limbah cair akan mengubah tingkat keasaman (pH) pada air alami. pH dapat diukur dengan alat pH meter dan kertas pH beserta indikator warna pH yang dijadikan patokan (Metcalf and Eddy, 2003). Nilai pH yang ada di industri batik ini sebesar 9.8, sedangkan berdasarkan Peraturan Daerah Provinsi Jawa Tengah Nomor 5 Tahun 2012 tentang Baku Mutu Air Limbah tercantum bahwa kandungan BOD untuk industri batik dan tekstil adalah 6 – 9 mg/L untuk dibuang ke badan air.

2.1.2 Biological Oxygen Demand (BOD)

Biological Oxygen Demand (BOD) merupakan parameter yang digunakan untuk menilai jumlah zat organik yang terlarut serta menunjukkan jumlah oksigen yang diperlukan oleh aktivitas mikroba dalam menguraikan zat organik secara biologis (*biological oxidation*) di dalam air limbah secara dekomposisi aerobik (Metcalf and Eddy, 2003). Pengukuran BOD digunakan untuk mendapatkan besaran karbon organik yang dapat diuraikan secara biologis. Dalam hal ini, BOD

diukur dengan menggunakan pendekatan periode 5 (lima) hari atau disebut juga dengan BOD₅. Menurut Perry (1998), waktu 5 (lima) hari merepresentasikan hanya sebagian dari total BOD, diperkirakan 70% material organik dapat terurai selama durasi 5 hari oleh mikroorganisme secara alami. Pada umumnya, hasil analisa BOD digunakan untuk:

1. Menentukan perkiraan banyaknya oksigen yang dibutuhkan untuk menstabilkan bahan organik secara biologis.
2. Menentukan ukuran fasilitas pengolahan limbah.
3. Menghitung efisiensi dari beberapa proses pengolahan.
4. Menentukan pemenuhan izin pembuangan air limbah.

Oleh karena itu, kemungkinan bahwa pengujian BOD₅ akan terus digunakan pada waktu tertentu, hal ini penting untuk mengetahui secara rinci dari proses pengujian dan batasan-batasannya (Metcalf & Eddy, 2003). Kandungan BOD₅ yang ada di industri batik ini sebesar 550 mg/L, sedangkan berdasarkan Peraturan Daerah Provinsi Jawa Tengah Nomor 5 Tahun 2012 tentang Baku Mutu Air Limbah tercantum bahwa kandungan BOD untuk industri batik dan tekstil maksimal adalah 60 mg/L untuk dibuang ke badan air.

2.1.3 Chemical Oxygen Demand (COD)

Chemical Oxygen Demand (COD) merupakan jumlah bahan organik yang ada pada air sungai atau limbah yang dapat dioksidasi secara kimia menggunakan dikromat dalam keadaan atau larutan asam. Jika kandungan senyawa organik dan anorganik cukup besar, maka oksigen terlarut di dalam air dapat mencapai nol sehingga tumbuhan air, ikan-ikan dan hewan air lainnya yang membutuhkan oksigen tidak memungkinkan hidup. Nilai COD selalu lebih tinggi dari BOD *ultimate* meskipun nilai keduanya bisa saja sama tetapi hal tersebut sangat jarang terjadi. Hal tersebut dapat terjadi apabila banyak zat organik yang sulit teroksidasi secara biologis, contohnya lignin yang hanya teroksidasi secara kimia, zat anorganik yang dioksidasi dikromat meningkatkan kandungan organik pada sampel, zat anorganik tertentu dapat meracuni mikroorganisme yang dibutuhkan untuk pengujian BOD, nilai COD yang tinggi dapat terjadi karena adanya zat

anorganik yang bereaksi dengan dikromat (Dirjen Cipta Karya Kementerian PUPR, 2018).

Kandungan COD pada air buangan industri tekstil (batik) adalah 1650 mg/L sedangkan standar baku mutu yang mengatur besar kandungan COD yang diperbolehkan dibuang ke lingkungan atau badan air adalah sebesar 150 mg/L berdasarkan Peraturan Daerah Provinsi Jawa Tengah Nomor 5 Tahun 2012, sedangkan kandungan COD yang dibuang ke badan air maksimal sebesar 40 mg/L.

2.1.4 Total Suspended Solid (TSS)

Limbah pada umumnya mengandung padatan yang bervariasi baik berupa padatan tersuspensi yang berbentuk koloid maupun padatan terlarut dalam air. 5 Dalam karakteristik limbah, padatan tersuspensi pada umumnya disisihkan sebelum sampel dianalisa. Secara umum, 60% dari kandungan padatan tersuspensi dalam limbah dapat diendapkan, sedangkan sisanya dapat disisihkan melalui proses filtrasi/penyaringan (Metcalf & Eddy, 2003). Total Suspended Solid (TSS) merupakan sebagian dari Total Solids yang tertahan pada filter dengan ukuran pori yang telah ditetapkan, pengukuran dilakukan setelah dikeringkan pada suhu 105°C. Filter yang paling sering digunakan untuk penentuan TSS adalah filter Whatman fiber glass yang memiliki ukuran pori nominal sekitar 1,58µm. (Metcalf-Eddy, "Wastewater Engineering Treatment and Reuse 4th edition, hal 43). TSS yang dihasilkan pada industri batik ini sebesar 400 mg/L. Sedangkan kandungan TSS yang diijinkan pada Peraturan Daerah Provinsi Jawa Tengah Nomor 5 Tahun 2012 disebutkan sebesar 50 mg/L.

2.1.5 Fenol

Fenol adalah bahan toksik yang bisa menghambat proses degradasi biologi oleh mikroba tertentu. Tetapi fenol dapat juga terdegradasi pada kondisi aerobik oleh bakteri methanogenesis. Toleransi pengolahan untuk air limbah industri adalah 500 mg/L, bila melebihi akan sulit untuk diuraikan secara biologis (Metcalf & Eddy, 2004). Fenol pada konsentrasi rendah akan digunakan oleh mikroba sebagai makanan dan terdegradasi dalam tubuh mikroba menjadi bahan-bahan yang tidak berbahaya seperti asam asetat, gas metana dan karbon dioksida (Thomas & Ward,

1989). Timbulnya gas tersebut dapat diketahui dari munculnya gelembung-gelembung gas pada permukaan reaktor yang digunakan dan bau asam yang ditimbulkan. Sedangkan fenol pada konsentrasi tinggi justru akan menjadi racun bagi mikroba yang dapat mematikan atau menghambat kemampuan mikroba untuk mendegradasi fenol (Ariyani, 2011).

Kandungan fenol pada air buangan industri tekstil (batik) adalah 40 mg/L, sedangkan standar baku mutu yang mengatur besar kandungan fenol yang diperbolehkan dibuang ke lingkungan adalah sebesar 1 mg/L (Peraturan Daerah Provinsi Jawa Tengah Nomor 5 Tahun 2012).

2.1.6 Kromium

Chrom memiliki berat atom 52, nomor atom 24, densitas 7,2 juga titik leleh $1857 \pm 20^{\circ}\text{C}$, dan titik didih $2,672^{\circ}\text{C}$. Chrom dapat berada dalam beberapa tingkat oksidasi, yaitu +2, +3, +6 (Nordberg et al., 2007). Kromium merupakan logam transisi yang penting, senyawanya berupa senyawa kompleks yang memiliki berbagai warna yang menarik, berkilau, titik lebur pada suhu yang tinggi serta tahan terhadap perubahan cuaca. Selain itu pelapisan logam dengan kromium menghasilkan paduan logam yang indah, keras, dan melindungi logam lain dari korosi. Sifat-sifat kromium inilah yang menyebabkan logam ini banyak digunakan dalam industri elektroplating, penyamakan kulit, cat, tekstil, fotografi, pigmen (zat warna), besi baja, dan industri kimia (Rahmawati, 2014).

Kandungan krom pada air buangan adalah 2 mg/L, sedangkan standar baku mutu yang mengatur besar kandungan krom yang diperbolehkan dibuang ke lingkungan adalah sebesar 1 mg/L (Peraturan Daerah Provinsi Jawa Tengah Nomor 5 Tahun 2012).

2.1.7 Minyak dan Lemak

Lemak dan minyak merupakan komponen utama bahan makanan yang juga banyak di dapatkan di dalam air limbah. Lemak dan minyak membentuk ester dan alkohol atau gliserol dengan asam lemak. Gliserid dari asam lemak ini berupa cairan pada keadaan biasa dikenal sebagai minyak dan apabila dalam bentuk padat dan kental sebagai lemak. Lemak tergolong pada benda organik yang tetap dan tidak

mudah untuk diuraikan oleh bakteri. Sebagai petunjuk dalam mengelola air limbah, maka efek buruk yang dapat menimbulkan permasalahan pada dua hal yaitu pada saluran air limbah dan pada bangunan pengolahan. Apabila lemak tidak dihilangkan sebelum dibuang ke saluran air limbah dapat mempengaruhi kehidupan yang ada dipermukaan air, dan menimbulkan lapisan tipis di permukaan, sehingga membentuk selamut. Kadar lemak sebesar 15-20 mg/L merupakan batas yang bisa ditolerir apabila lemak ini berada di dalam air limbah (Sugiharto, 1987). Parameter minyak dan lemak dapat ditemukan karena limbah cair industri batik merupakan hasil dari pemisahan sari tebu dalam proses produksi di stasiun pemurnian.

Kandungan minyak dan lemak air buangan industri batik ini adalah 15 mg/L. Sedangkan menurut Peraturan Daerah Provinsi Jawa Tengah Nomor 5 Tahun 2012 yang mengatur tentang baku mutu, kandungan minyak dan lemak yang dapat dibuang ke badan air maksimal sebesar 3 mg/L.

2.2 Bangunan Pengolahan Air Buangan

Bangunan pengolahan air buangan adalah unit yang dirancang untuk mengurangi beban pencemar yang terdapat pada air buangan atau limbah. Beban pencemar yang dimaksud adalah partikel-partikel berbahaya, BOD, COD, organisme patogen, komponen beracun dan bahan lainnya yang memiliki sifat beracun dan berpotensi menimbulkan penyakit pada manusia atau organisme lainnya. Bangunan pengolahan air limbah harus dirancang dengan baik agar dapat menurunkan beban pencemar secara efektif. Dalam proses pengolahan air limbah dibagi menjadi empat tahapan yaitu :

- a) Pengolahan Pendahuluan (*Pre - Treatment*)
- b) Pengolahan Pertama (*Primary - Treatment*)
- c) Pengolahan Kedua (*Secondary - Treatment*)
- d) Pengolahan Ketiga (*Tertiary - Treatment*)
- e) Pengolahan Lumpur (*Sludge - Treatment*)

(Sumber: Sugiharto, (1987), *Dasar – Dasar Pengelolaan Air Limbah*, Salemba, Jakarta: Universitas Indonesia Press).

2.2.1 Pengolahan Pendahuluan (Pre – Treatment)

Proses pengolahan awal ini merupakan proses pada awal pengolahan secara fisik yang dilakukan untuk membersihkan dan menghilangkan sampah terapung yang berukuran besar atau sedang dari pasir agar mempercepat proses pengolahan selanjutnya. Selain itu pre-treatment juga berfungsi untuk memindahkan atau menyalurkan air limbah dari unit operasi produk industri yang menghasilkan limbah ke bangunan pengolahan air limbahnya. Unit proses pengolahan pre-treatment untuk kawasan industri meliputi:

a. Saluran Pembawa

Saluran pembawa adalah saluran yang digunakan untuk menyalurkan atau mengantarkan air dari satu bangunan ke bangunan pengolahan lainnya. Saluran pembawa biasanya terbuat dari beton. Saluran pembawa ini juga dapat dibedakan menjadi saluran pembawa terbuka dan tertutup. Saluran ini mampu mengalirkan air dengan memerhatikan beda ketinggian atau perbedaan elevasi antara bangunan yang satu dengan bangunan yang lainnya. Apabila saluran pembawa ini di atas lahan yang datar, maka diperlukan kemiringan/slope (m/m).

Saluran terbuka (*open channel flow*) adalah sistem saluran yang permukaan airnya terpengaruh dengan udara luar (atmosfer). Ada beberapa macam bentuk dari saluran terbuka, diantaranya trapesium, segi empat, segitiga, setengah lingkaran, ataupun kombinasi dari bentuk tersebut. Sedangkan saluran tertutup (*pipe flow*) adalah sistem saluran yang permukaan airnya tidak terpengaruh dengan udara luar (atmosfer). Konstruksi saluran tertutup terkadang ditanam pada kedalaman tertentu di dalam tanah yang disebut dengan sistem *sewerage*. Namun walaupun tertutup, alirannya tetap mengikuti gravitasi yaitu aliran pada saluran terbuka.



Gambar 2.1 Saluran Terbuka dan Saluran Tertutup

(Sumber : <https://images.app.goo.gl/TyqoSzkSKLMh2qxb9> dan <https://images.app.goo.gl/dGpuVp9inWNZ5wmf6>)

b. Screen

Screening merupakan unit pertama yang digunakan pada pengolahan air limbah. *Screening* digunakan dalam menghilangkan sampah padat seperti kertas, plastik, atau kain yang dapat merusak dan menyumbat aliran air, pipa dan pompa. (United States Environmental Protection Agency, 2000). Fungsi dari screen adalah:

1. Menyaring benda-benda padat dan kasar yang ikut terbawa dalam air buangan agar benda-benda tersebut tidak mengganggu aliran dalam saluran dan membahayakan atau merusak alat-alat, misalnya pompa, valve dan lainnya, serta mengganggu proses pengolahan air buangan. Benda-benda padat dan kasar ini antara lain plastik, batang kayu kecil, logam dan sebagainya.
2. Mencegah timbulnya kerusakan atau penyumbatan (*clogging*) pada saluran dan pompa

Prinsip dari *screening* adalah untuk menghilangkan material kasar yang terdapat pada aliran air buangan yang dapat menyebabkan :

- Kerusakan pada alat pengolahan,
- Mengurangi efektifitas pengolahan dan biaya pada proses pengolahan,
- Kontaminasi pada aliran air (Metcalf & Eddy, 2003).

Screen pada umumnya dibedakan menjadi tiga tipe screen, diantaranya *coarse screen*, *fine screen*, dan *microscreen*. *Coarse screen* mempunyai bukaan yang berada antara 6-150 mm (0,25-6 inch). Sedangkan *fine screen* mempunyai bukaan kurang dari 6 mm (0,25 inch). *Microscreen* pada umumnya mempunyai bukaan kurang dari 50 mikron dan digunakan untuk menghilangkan padatan halus dari effluent. (Metcalf & Eddy, 2003).

Screen biasanya terdiri atas batangan yang disusun secara paralel. *Screen* pada umumnya terbuat dari batangan logam, kawat, jeruji besi, kawat berlubang, bahkan *perforated plate* dengan bukaan yang berbentuk lingkaran atau persegi. (Metcalf & Eddy, 2003). Berikut ini tipe-tipe dari Screen :

1. *Coarse Screen* (Saringan Kasar)

Coarse screen mempunyai bukaan yang berada antara 6-150 mm (0,25-6 inchi). Dalam pengolahan air limbah, screen ini digunakan untuk melindungi pompa, valve, saluran pipa, dan peralatan lainnya dari kerusakan akibat penyumbatan yang disebabkan oleh benda-benda tersebut. Menurut metode pembersihannya saringan kasar dibedakan menjadi 2, yaitu secara manual dan mekanik, di mana desain pembersihan secara manual dilakukan dengan menggunakan tenaga manusia sedangkan pembersihan secara mekanik menggunakan mesin.



Gambar 2.2 Bar Screen dengan pembersihan manual

(Sumber: <https://www.indiamart.com/proddetail/manual-bar-screen-15447659648.html>)

Tabel 2.1 Kriteria Perencanaan *Coarse Screen*

<i>Parameter</i>	<i>SI Units</i>		
	<i>Unit</i>	<i>Cleaning Method</i>	
		<i>Manual</i>	<i>Mechanical</i>
<i>Bar Size</i>			
- <i>Width</i>	mm	5 – 15	5 – 15
- <i>Depth</i>	mm	25 – 38	25 – 38
<i>Clear spacing between bars</i>	mm	25 – 50	15 – 75
<i>Slope from vertical</i>	°	30 – 45	0 – 30
<i>Approach velocity</i>		0,3 – 0,6	

<i>Parameter</i>	<i>SI Units</i>		
	<i>Unit</i>	<i>Cleaning Method</i>	
		<i>Manual</i>	<i>Mechanical</i>
- <i>Maximum</i>	m/s		0,6 – 1,0
- <i>Minimum</i>	m/s		0,3 – 0,5
<i>Allowable headloss</i>	mm	150	150 - 600

(Sumber: Metcalf & Eddy, 2003. *Wastewater Engineering: Treatment and Reuse* 4th edition, New York: McGraw-Hill Companies, Inc)



Gambar 2.3 *Mechanical Bar Screen*

(Sumber : <https://www.jyotihydrotech.com/mechanical-bar-screen>)

2. *Fine Screen* (Saringan Halus)

Penyaring halus (*Fine Screen*) pada umumnya diaplikasikan dalam berbagai kondisi dalam pengolahan air buangan, di antaranya pada pengolahan awal (diaplikasikan setelah penggunaan *bar screen*) dan pada pengolahan primer. (menggantikan fungsi *clarifier* guna menurunkan *Total Suspended Solid* (TSS) dan *Biological Oxygen Demand* (BOD) pada air buangan). *Fine Screen* juga digunakan untuk menghilangkan padatan dari effluent yang dapat menyebabkan penyumbatan pada proses selanjutnya.



Gambar 2.4 Fine Screen

(Sumber : <https://www.indiamart.com/proddetail/fine-bar-screen10313991573.html>)

Penyaring halus (*Fine Screen*) yang digunakan untuk pengolahan pendahuluan (*Preliminary Treatment*) adalah seperti ayakan kawat (*static wedge wire*), drum putar (*rotary drum*) atau seperti anak tangga (*step type*). Penyaring halus (*Fine Screen*) pada umumnya memiliki variasi bukaan yang berkisar antara 0,2 – 6,0 mm.

3. Micro Screen

Microscreen berfungsi untuk menyaring padatan halus, zat/material yang mengapung, serta alga yang berukuran kurang dari 0,5 μm . Jenis padatan tersuspensi yang dapat tersisihkan dengan menggunakan teknologi microscreen berkisar antara 10-80%, dengan rata-rata 50%. Prinsip yang digunakan pada jenis screen ini adalah bahan padat kasar dihilangkan dengan sederet bahan baja yang diletakan dan dipasang melintang dari arah aliran. Kecepatan aliran harus lebih dari 0,3 m/s sehingga bahan padatan yang tertahan di depan saringan tidak terjepit dan mengakibatkan microscreen tersumbat. Jarak antar batang biasanya berkisar antara 20-40 mm dengan bentuk penampang batang persegi panjang dengan ukuran 10 mm x 50 mm. Untuk bar screen yang dibersihkan secara manual, biasanya saringan dimiringkan dengan kemiringan 60° terhadap horizontal (*Metcalf & Eddy, 2003*).

2.2.2 Pengolahan Pertama (*Primary – Treatment*)

a. Grease Trap

Grease Trap adalah alat perangkap grease atau minyak dan oli. Alat ini membantu untuk memisahkan minyak dari air, sehingga minyak tidak menggumpal dan membeku di pipa pembuangan dan membuat pipa tersumbat. Terbuat dari pasangan bata maupun stainless steel sehingga aman dari korosi. Alat ini cocok digunakan di rumah tangga dan di restoran.

Grease Trap juga dikenal sebagai pencegat lemak, perangkat pemulihan (*recovery*) minyak dan konverter limbah minyak) merupakan perangkat pipa yang dirancang untuk mencegat sebagian besar lemak/minyak dan zat padat lain sebelum memasuki sistem pembuangan air limbah. Limbah umumnya mengandung sejumlah kecil minyak yang masuk ke dalam septik tank dan fasilitas pengolahan untuk membentuk lapisan buih mengambang.

Lapisan minyak dan lemak ini sangat lambat diolah/dicerna dan dipecah oleh mikroorganisme dalam proses pencernaan anaerobik. Namun, jumlah yang sangat besar minyak dari produksi makanan di dapur dan restoran bisa membanjiri tangki septik atau fasilitas perawatan, menyebabkan pelepasan limbah yang tidak diolah ke lingkungan. Selain itu, viskositas lemak yang tinggi dari minyak masak seperti lemak babi menjadi padat saat didinginkan, dan dapat bersama sama dengan limbah padat lain membentuk penyumbatan di pipa saluran.

Semakin bertambahnya waktu, semakin tebal pula lapisan minyak dan lemak yang ada pada grease trap. Sehingga dibutuhkan pembersihan dengan cara kotoran yang ada di bak penampung minyak pada grease trap dihisap oleh pipa penghisap melalui manhole. Berikut ini adalah jenis-jenis Grease Trap yang paling umum :

1. Grease trap pasif, yaitu titik perangkat sederhana yang digunakan di bawah kompartemen bak cuci dalam dapur. Grease trap ini membatasi aliran dan menghapus 85-90% dari lemak dan minyak yang masuk. Makanan padat bersama dengan lemak, minyak, dan lemak akan terjebak dan disimpan dalam perangkat ini.

2. Tangki in-ground berukuran besar yang biasanya berukuran 500-2000 galon. Unit unit ini dibangun dari beton, fiberglass, atau baja. Dengan sifat ukuran lebih besar, perangkat ini memiliki kapasitas penyimpanan lemak dan limbah padat yang lebih besar untuk aplikasi aliran limbah yang tinggi seperti pada restoran atau rumah sakit. Trap ini biasa disebut pencegat gravitasi (*gravity interceptors*). Pencegat/trap memerlukan waktu retensi dari 30 menit untuk memungkinkan lemak, minyak, gemuk dan limbah padat makanan untuk menetap di tangki. Semakin banyak limbah masuk ke tangki maka begitu pula air yang bebas lemak didorong keluar dari tangki.
3. Sistem GRD (*Grease Recovery Devices* atau Perangkat Pemulihan Lemak), menghapus lemak atau minyak permukaan secara otomatis ketika terjebak.

Kriteria Perencanaan

1. Kecepatan aliran (v) = 2 – 6 m/jam = 0,00055 m/s – 0,0016 m/s
2. Waktu tinggal (td) = 5 – 20 menit
3. Terdiri dari 2 kompartemen
 - Kompartemen pertama = 2/3 dari total panjang
 - Kompartemen kedua = 1/3 dari total panjang
4. Diameter manhole minimal = 0,6 m
5. Penyisihan minyak dan lemak = 80%

(Sumber: Kementerian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat, 2017)

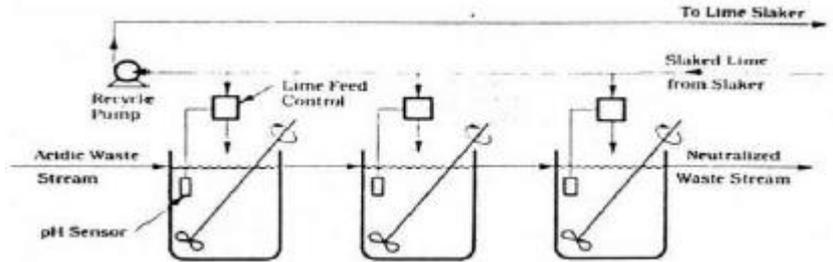
b. Netralisasi

Air baku dapat bersifat asam atau basa, maka sebelum dilanjutkan ke badan air atau ke unit pengolahan selanjutnya harus dalam keadaan optimal atau netral. Larutan dikatakan asam apabila memiliki nilai pH kurang dari 7, dikatakan netral apabila pH bernilai 7, dan dikatakan basa apabila memiliki nilai pH lebih dari 7. Proses netralisasi bertujuan untuk menetralkan derajat keasaman (pH) pada air dengan penambahan bahan kimia dan dosis yang sesuai (Metcalf & Eddy et al.,2007).

- Larutan dikatakan asam bila : $H_+ > H_-$ dan $pH < 7$
- Larutan dikatakan netral bila : $H_+ = H_-$ dan $pH = 7$

- Larutan dikatakan basa bila : $H^+ < H^-$ dan $pH > 7$

Adapun prinsip pencampuran di dalam bak netralisasi seperti pada gambar dibawah ini:



Gambar 2.5 Bak Netralisasi

(Sumber: Metcalf & Eddy et al, 2007)

Adapun agen netralisan yang biasa digunakan untuk proses netralisasi secara umum beserta klasifikasinya adalah sebagai berikut:

1. Senyawa basa

- Lime dalam bentuk apapun (Senyawa Basa Kuat)
- Natrium Hidroksida (NaOH) (Senyawa Basa Kuat)
- Magnesium Hidroksida ($Mg(OH)_2$) (Senyawa Basa Sedang)
- Natrium Karbonat (Na_2CO_3) (Senyawa Basa Lemah)
- Natrium Bikarbonat ($NaHCO_3$) (Senyawa Basa Lemah)

2. Senyawa asam

- Asam Sulfat (H_2SO_4) (Senyawa Asam Kuat)
- Karbon Dioksida (CO_2) (Senyawa Asam Lemah) (W. Eckenfelder, 2000).

Dalam proses netralisasi, terdapat dua sistem yang digunakan dalam menjalankan prosesnya. Sistem-sistem tersebut diantaranya adalah sebagai berikut:

- Sistem batch biasa digunakan pada air yang memiliki debit lebih kecil dari 380 m³/hari.
- Sedangkan sistem continue membutuhkan pengaturan tingkat keasaman (pH).

Apabila udara diperlukan untuk proses pengadukan, maka aliran udara minimum yang dibutuhkan berkisar antara 1-3 ft³/mm. ft² atau 0,3-0,9 m³/mm. m²

dengan kedalaman 9 ft (2,7 m). Apabila sistem pengadukan dilakukan secara mekanis, maka daya yang dibutuhkan berkisar antara 0,2-0,4 hp/ribu.gal (0,04 - 0,08 kW/m³) (W. Eckenfelder, 2000).

c. Dissolved Air Flotation (DAF)

DAF merupakan proses pemisahan padatan, minyak dan kontaminan tersuspensi lainnya dengan menggunakan gelembung udara. Udara yang ditambahkan ke dalam air akan tercampur dengan aliran air dan terlepas dari larutan ketika terjadi kontak dengan kontaminan. Gelembung udara menempel pada padatan, meningkatkan daya apung dan mengangkat padatan ke permukaan air. Pada sistem DAF, udara dilarutkan di dalam cairan di bawah tekanan beberapa atmosfer sampai jenuh, kemudian dilepaskan ke tekanan atmosfer. Akibat terjadinya perubahan tekanan maka udara yang terlarut akan lepas kembali dalam bentuk gelembung yang sangat halus (30 – 120 mikron). Ukuran gelembung udara sangat menentukan dalam proses flotasi, makin besar ukuran gelembung udara, kecepatan naiknya juga makin besar, sehingga kontak antara gelembung udara dengan partikel tidak berjalan dengan baik. Dengan demikian proses flotasi menjadi tidak efektif. Aplikasi dari sistem *Dissolved Air Flotation* di Industri menurut (Baum dan Hurst, 1953) adalah :

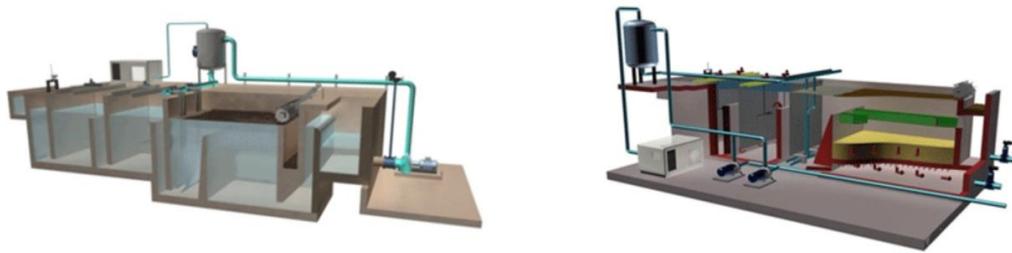
- Pemisahan partikel tersuspensi sebagai pengganti sedimentasi.
- Pemisahan partikel koloidal, sebagai pengganti filtrasi.
- Pengolahan tingkat pertama, untuk meringankan beban sistem filtrasi.
- Pemisahan minyak dan lemak, memberikan efisiensi pemisahan yang tinggi untuk emulsi dan fraksi yang terdispersi.
- Pengolahan tingkat pertama dari operasi pengolahan lumpur aktif.

Berdasarkan mekanisme pemisahannya :

- 1) Bisa berlangsung secara fisik, yaitu tanpa penggunaan bahan untuk membantu percepatan flotasi, hal ini bisa terjadi karena partikel-partikel suspensi yang terdapat dalam air limbah akan mengalami tekanan ke atas

sehingga mengapung di permukaan karena berat jenisnya lebih rendah dibanding berat jenis air limbah.

- 2) Bisa dilakukan dengan penambahan bahan, yaitu: Udara atau bahan polimer yang diinjeksikan ke dalam cairan pembawanya, yang dapat mempercepat laju partikel ringan menuju permukaan. Untuk keperluan flotasi, udara yang diinjeksikan jumlahnya relatif sedikit ($\pm 0,2 \text{ m}^3$ udara) untuk setiap m^3 air limbah



Gambar 2.6 Dissolved Air Flotation

(Sumber : Adlan, M.N., *A study of dissolved air flotation tank design variables and separation zone performance. PhD thesis, University of Newcastle Upon Tyne, 1998*)

2.2.3 Pengolahan Sekunder (Secondary Treatment)

Pengolahan sekunder akan memisahkan koloid dan komponen organik terlarut dengan proses biologis. Proses pengolahan biologis ini dilakukan secara aerobik.

a. Pengolahan dengan lumpur aktif (*activated sludge*)

Untuk mengubah buangan organik, menjadi bentuk anorganik yang lebih stabil dimana bahan organik yang lebih terlarut yang tersisa setelah prasedimentasi dimetabolisme oleh mikroorganisme menjadi CO_2 dan H_2O , sedang fraksi terbesar diubah menjadi bentuk anorganik yang dapat dipisahkan dari air buangan oleh sedimentasi. Proses dalam *activated sludge* ini mampu mengubah hampir seluruh bahan organik terlarut dan koloid dimetabolisme oleh mikroorganisme menjadi karbon dioksida dan air. Dan fraksi terbesar diubah menjadi massa *cellular* yang dapat dipisahkan dari aliran melalui pengendapan secara gravitasi. Agar effluen

yang dikeluarkan berkualitas tinggi, maka biomassa harus dapat dipisahkan dari aliran melalui *clarifier*, dan setelah itu biomassa dikembalikan lagi ke tangki aerasi. Dalam unit *activated sludge* tidak hanya meremoval parameter limbah seperti BOD dan COD saja, melainkan dapat menurunkan konsentrasi pencemaran oleh logam kromium sebesar 85 – 90% dan fenol sebesar 95 – 99% (Merical, 2007).

Kromium biasanya memerlukan pengolahan khusus untuk dihilangkan. Dalam beberapa kasus, proses biologis dalam *activated sludge* dapat mengurangi kromium, terutama jika kromium ada dalam bentuk trivalen (Cr(III)). Kromium heksavalen (Cr(VI)) lebih sulit diolah secara biologis dan mungkin memerlukan pengurangan kimia sebelum masuk ke sistem. Mikroorganisme yang berperan dalam menurunkan kromium adalah *Bacillus subtilis*. Untuk parameter fenol, dapat diurai oleh mikroorganisme aerobik (*Pseudomonas putida*) dalam sistem *activated sludge*, meskipun beberapa jenis fenol lebih tahan terhadap degradasi. Adaptasi mikroorganisme dalam tangki aerasi bisa meningkatkan efektivitas penguraian fenol. Kedua mikroorganisme yang berperan dalam meremoval fenol dan krom berfungsi secara selektif karena adanya mekanisme molekuler dan biokimia yang memungkinkan mereka mendeteksi dan menguraikan senyawa spesifik tanpa terganggu oleh kehadiran senyawa lain. (Athanasios, 2004)

Proses *activated sludge* memiliki beberapa tipe dan modifikasinya, antara lain sebagai berikut :

1. Konvensional

Sistem konvensional terdiri dari tangki aerasi, *clarifier*, dan *recycle sludge*. Sistem flow yang digunakan adalah sistem *plug-flow* dengan *recycle*. Proses ini tidak mampu mengatasi *shock loading* dari buangan toksik atau buangan berkekuatan tinggi karena beban tidak didistribusikan ke sepanjang tangki aerasi, tetapi berkonsentrasi pada tempat masuknya air buangan.

2. *High-Rate Aeration*

Merupakan modifikasi dari sistem konvensional dengan melakukan pengaturan sistem aerasi. Pada inlet tangki aerasi, kebutuhan oksigen sangat tinggi, sedangkan semakin mendekati outlet, kebutuhan oksigen makin

menurun. Hal ini menyebabkan difuser diletakkan berdekatan dengan inlet untuk memenuhi nilai oksigenasi.

3. *Step Feed*

Modifikasi dari sistem konvensional, dimana influen air buangan dilakukan pada beberapa titik. Tujuannya untuk meratakan rasio F/M sehingga kebutuhan oksigen pada saat puncak dapat lebih rendah. Keuntungannya adalah distribusi oksigen lebih merata dan kebutuhan oksigennya tidak terlalu besar.

4. *Complete Mix Activated Sludge (CMAS)*

Merupakan sistem pengadukan lengkap oleh difusi atau aerasi mekanis di sepanjang tangki. Beban organik sama sepanjang tangki. Udara atau suplai oksigen biasanya melalui diffuser aerator atau aerator permukaan. Keuntungan sistem ini adalah mampu menyuplai oksigen dan mampu mengaduk biomassa menjadi lebih homogen sehingga merata di seluruh reaktor.

5. *Extended Aeration*

Proses extended aeration membutuhkan tangki aerasi yang luas sehingga dapat terjadi pertumbuhan mikroorganisme yang tinggi. Biasanya digunakan untuk aliran air buangan yang kecil.

6. *Sequencing Batch Reactor (SBR)*

Tipe reaktor sistem terdiri dari single reaktor complete-mix dimana pada setiap proses tahap pengolahan merupakan proses activated sludge. Untuk air limbah domestik dengan aliran kontinu, setidaknya 2 bagian, yaitu pengendapan lumpur dan resirkulasi lumpur.

7. *Oxidation Ditch*

Oxidation ditch terdiri dari bulatan chanel dengan aerasi mekanik dan pengadukan. Mekanikal aerator permukaan digunakan untuk pengadukan dan aerasi. Air limbah yang masuk ke dalam chanel dikombinasikan dengan resirkulasi lumpur.

8. *Cyclic Activated-Sludge System (CCAS)*

CCAS menggunakan tiga zona baffle dengan proporsi volumetric perbandingan 1:2:20 dan pencampuran diresirkulasi dari zona 3 ke zona 1. Dalam proses CCAS, air limbah yang masuk kontinu ketika effluent teremoval dalam reaksi batch.



Gambar 2.7 Activated Sludge

(Sumber: <https://www.moneratec.com/blog/activated-sludge-plant-design/>)

Kriteria Perencanaan

1. Umur lumpur (θ_c) = 4-10 hari
2. F/M ratio = 0,25 - 0,5 kg BOD/kg MLVSS.d
3. Hydraulic detention time (HDT) = 6 - 8 jam
(Sperling, 2007)
4. VSS/SS ratio = 0,7 - 0,85
(Sperling, 2007)
5. Particulate BOD = 0,45 – 0,65 mgBOD5/mgTSS
(Sperling, 2007)
6. Yield Coefficient (Y) = 0,5 - 0,7 gr VSS/gr BOD5 removed
7. Endogenous Respiration Coefficient (Kd) = 0,06 - 0,10 gr VSS/gr VSS.d
(Sperling, 2007)
8. Standard oxygenation efficiency = 1,8 kg O₂/kW.jam
(Sperling, 2007)
9. Ketinggian bak aerasi (H) = 3 – 5,6 m
(Sperling, 2007)
10. Konsentrasi MLSS (X) = 2000 - 4000 mg/L
11. Ratio resirkulasi lumpur (Q_r/Q) = 0,6 - 1
12. Biodegradable fraction of VSS (fb) = 0,55 – 0,77

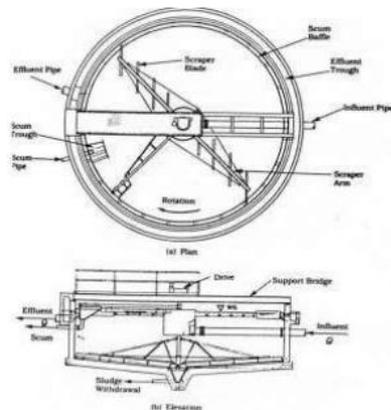
13. Effluent soluble BOD = 5 – 20 mg/L 168
(Sperling, 2007)

14. Kebutuhan O₂ = 0,8 – 0,94 kg O₂/kg BOD removed
(Sperling, 2007)

b. Bak Pengendap II (*Secondary Clarifier*)

Pengolahan ini adalah kelanjutan dari pengolahan terdahulu, oleh karena itu pengolahan jenis ini akan digunakan apabila pada pengolahan pertama dan kedua banyak zat tertentu yang masih berbahaya bagi masyarakat umum. Pengolahan kedua ini merupakan pengolahan secara khusus sesuai dengan kandungan zat yang terbanyak dalam air limbah, biasanya dilaksanakan pada pabrik yang menghasilkan air limbah khusus diantaranya yang mengandung fenol, nitrogen, fosfat, bakteri patogen dan lainnya.

Clarifier (Bak Pengendap II) berfungsi untuk memisahkan lumpur aktif dari *Mixed-liquor suspended solids* (MLSS). Lumpur yang mengandung mikroorganisme (bakteri) yang masih aktif akan diresirkulasi kembali ke *activated sludge* (tangki aerasi) dan *sludge* yang mengandung mikroorganisme yang sudah mati atau tidak aktif lagi dalirkan ke pengolahan lumpur. Langkah ini merupakan langkah akhir untuk meghasilkan effluen yang stabil dengan konsentrasi BOD dan SS yang rendah. Dengan adanya volume yang besar dari solid yang flokulen dalam MLSS, maka diperlukan pertimbangan khusus untuk mendesain bak pengendap II. Adapun faktor – faktor yang menjadi pertimbangan dalam desain adalah:



Gambar 2.8 Clarifier

(Sumber: <https://www.indiamart.com/proddetail/clarifier-system11853391312.html>)

Kriteria Perencanaan

1. Bentuk bak pengendap 2 (clarifier) = circular
2. Kedalaman (H) = 3 – 4,9 m
3. Diameter = 3 – 60 m
4. Bottom slope = 1/16 – 1/6 mm/mm
5. Flight speed = 0,02 – 0,05 m/menit
(*Metcalf & Eddy, 2003*)
6. Waktu detensi = 1,5 – 2,5 jam
7. Over flow rate
Average = 30 – 50 m³ /m² .hari
Peak = 80 – 120 m³ /m² .hari
8. Weir loading = 125 – 500 m³ /m² .hari
(*Metcalf & Eddy, 2003*)
9. Diameter inlet well = 15% - 20% diameter bak
(*Metcalf & Eddy, 2003*)
10. % Removal Total Suspended Solid (TSS) = 50 – 70%
(*Metcalf & Eddy, 2003*)
11. Konsentrasi solid = 4% - 12%
(*Metcalf & Eddy, 2003*)
12. Massa jenis air (ρ), T = 28°C = 0,9962 g/cm³ = 996,26 kg/L
13. Viskositas absolut (μ) = 0,8363 × 10⁻³ Ns/ m³
14. Viskositas kinematis = 0,8394 × 10⁻⁶ m² /s
(*Reynolds & Richards, 1996*)
15. Bilangan Reynold (NRE) untuk Vs = < 1 (Laminer)
(*Reynolds & Richards, 1996*)
16. Spesific gravity sludge (Sg) = 1,005
17. Spesific gravity solids (Ss) = 1,25
(*Reynolds & Richards, 1996*)

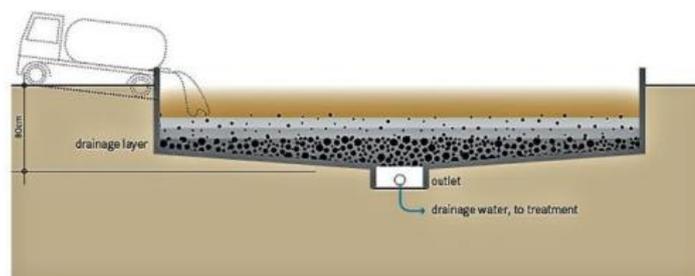
18. Bilangan Reynold (NRE) untuk $V_h = 105$
 (SNI 6774, 2008)
19. Ketinggian inlet well $= 0,5 - 0,7$ m
20. Kecepatan inlet well $= 0,3 - 0,75$ m/s
 (Metcalf & Eddy, 2003)

2.2.4 Pengolahan Lumpur (Sludge Treatment)

Dari pengolahan air limbah maka hasilnya adalah berupa lumpur yang perlu diadakan pengolahan secara khusus agar lumpur tersebut tidak mencemari lingkungan dan dapat dimanfaatkan kembali untuk keperluan kehidupan. *Sludge* dalam disposal *sludge* memiliki masalah yang lebih kompleks. Hal ini disebabkan karena :

- Sludge* sebagian besar dikomposisi dari bahan-bahan yang responsible untuk menimbulkan bau.
- Bagian *sludge* yang dihasilkan dari pengolahan biologis dikomposisi dari bahan organik.
- Hanya sebagian kecil dari *sludge* yang mengandung solid (0,25% - 12% solid).
 Tujuan utama dari pengolahan lumpur adalah :
 - Mereduksi kadar lumpur
 - Memanfaatkan lumpur sebagai bahan yang berguna seperti pupuk dan sebagai penguruk lahan yang sudah aman.

Sludge drying bed merupakan suatu bak yang dipakai untuk mengeringkan lumpur hasil pengolahan dari thickener. Bak ini berbentuk persegi panjang yang terdiri dari lapisan pasir dan kerikil serta pipa drain untuk mengalirkan air dari lumpur yang dikeringkan.



Gambar 2.9 Sludge Drying Bed

(sumber: <http://drincorda.iwlearn.org/demonstrating-solutions/nature-based-solutions-for-wastewater-management>)

Kriteria Perencanaan

1. Waktu pengeringan = 10 - 15 hari
2. Tebal sludge cake = 20 – 30 cm
3. Tebal pasir = 23 – 30 cm
4. Lebar = 3 m
5. Panjang = 5 – 30 m
6. Slope = 1%
7. Kecepatan aliran pipa (v) = > 0,75 m/s
8. Berat air dalam cake (Pi) = 60% - 70%
9. Kadar air (P) = 60% - 80%
10. Kadar solid = 20% - 40%
11. Sludge loading rate = 120 – 150 kg/solid kering/m² .tahun
(Metcalf & Eddy, 2003)

2.3 Persen Removal

Berikut ini merupakan tabel persen removal yang digunakan dalam pengolahan air limbah buangan komunal industri batik Provinsi Jawa Tengah:

Tabel 2.2 Persen Removal Unit Pengolahan Air Limbah

UNIT BANGUNAN	BEBAN PENCEMAR	% REMOVAL	LITERATUR
GREASE TRAP	Minyak dan Lemak	80%	Dirjen Cipta Karya.2017. Buku A Pedoman Perencanaan Teknik Terinci Instalasi Pengolahan Lumpur Tinja. Hal 24.

UNIT BANGUNAN	BEBAN PENCEMAR	% REMOVAL	LITERATUR
DISSOLVED AIR FLOTATION	TSS	50 – 85%	Cavaseno, V. (1987). Industrial Wastewater and Solid Waste Engineering. Page 14.
	Minyak dan Lemak	99%	Maharani, V. S. (2017) Studi Literatur: Pengolahan Minyak dan Lemak Limbah Industri.
ACTIVATED SLUDGE	BOD	80 – 90%	Cavaseno, V. (1987). Industrial Wastewater and Solid Waste Engineering. Page 15.
	COD	50 – 95%	
	Fenol	95 – 99%	
	Cr (Kromium)	85 – 90%	Mercial, J. (2000). The Effects and Processes for Removal of Chromium in Activated Sludge Treatment
CLARIFIER	TSS	60 – 80%	Huisman, L. (1977). Sedimentation and Flotation Mechanical Filtration. Page 12

2.4 Profil Hidrolis

Profil hidrolis adalah upaya penyajian secara grafis “*hidrolik grade line*” dalam instalasi pengolahan atau menyatakan elevasi unit pengolahan (influen-effluen) dan perpipaan untuk memastikan aliran air mengalir secara gravitasi, untuk mengetahui kebutuhan pompa, dan untuk memastikan tingkat terjadinya banjir atau luapan air akibat aliran balik. Hal-hal yang harus diperhatikan dalam membuat profil hidrolis adalah sebagai berikut:

1. Kehilangan Tekanan pada Bangunan Pengolahan

Untuk membuat profil hidrolis perlu perhitungan kehilangan tekanan pada bangunan. Kehilangan tekanan akan mempengaruhi ketinggian muka air di dalam bangunan pengolahan. Kehilangan tekanan pada bangunan pengolahan ada beberapa macam, yaitu:

- a. Kehilangan tekanan pada saluran terbuka
 - b. Kehilangan tekanan pada bak
 - c. Kehilangan tekanan pada pintu
 - d. Kehilangan tekanan pada weir, sekat, ambang, dan sebagainya harus dihitung secara khusus
2. Kehilangan Tekanan pada Perpipaan dan Aksesoris

Kehilangan tekanan pada perpipaan dan aksesoris yang berhubungan dengan bangunan pengolahan adalah sebagai berikut:

- Kehilangan tekanan pada perpipaan
Cara yang mudah dengan monogram “Hazen William” Q atau V diketahui maka S didapat dari monogram
- Kehilangan tekanan pada aksesoris
Cara yang mudah adalah dengan mengekivalen aksesoris tersebut dengan panjang pipa, di sini juga digunakan monogram untuk mencari panjang ekivalen sekaligus
- Kehilangan tekanan pada pompa
Bisa dihitung dengan rumus, grafik karakteristik pompa serta dipengaruhi oleh banyak faktor seperti jenis pompa, cara pemasangan dan sebagainya
- Kehilangan tekanan pada alat pengukur flok
Cara perhitungannya juga dengan bantuan monogram

3. Tinggi Muka Air

Kesalahan dalam perhitungan tinggi muka air dapat terjadi kesalahan dalam menentukan elevasi (ketinggian) bangunan pengolahan, dalam pelaksanaan pembangunan, sehingga akan dapat mempengaruhi pada proses pengolahan. Kehilangan tekanan bangunan (saluran terbuka dan

tertutup) tinggi terjunan yang direncanakan (jika ada) akan berpengaruh pada perhitungan tinggi muka air. Perhitungan dapat dilakukan dengan cara:

- Menentukan tinggi muka air bangunan pengolahan yang paling akhir
- Menambahkan kehilangan tekanan antara *clear well* dengan bangunan sebelumnya pada ketinggian muka air di *clear well*
- Didapat tinggi muka air bangunan sebelum *clear well* demikian seterusnya sampai bangunan yang pertama sesudah intake
- Jika tinggi muka air bangunan sesudah intake ini lebih tinggi dari tinggi muka air sumber, maka diperlukan pompa di intake untuk menaikkan air.