

LAPORAN PENELITIAN

MSTALASI PENGOLAHAN AIR LIMBAH INDUSTRI KECIL RUMAH TANGGA ELEKTROPLATING



Oleh :

Yatnanta Padma Devia, ST, MT

DEPARTEMEN PENDIDIKAN NASIONAL
UNIVERSITAS BRAWIJAYA
FAKULTAS TEKNIK
JURUSAN TEKNIK SIPIL
2009

HALAMAN PENGESAHAN

1. Judul usulan : **INSTALASI PENGOLAHAN AIR LIMBAH INDUSTRI KECIL RUMAH TANGGA ELEKTROPLATING**

2. Ketua peneliti :

a. Nama lengkap dan gelar : Yatnanta Padma Devia, ST, MT
b. Jenis kelamin : Perempuan
c. Jabatan fungsional : Asisten Ahli
d. Jabatan struktural : -
e. Fakultas/Jurusan : Fakultas Teknik/Jurusan Teknik Sipil
g. Universitas : Universitas Brawijaya Malang
h. E-mail : yatnanta@yahoo.com

3. Jangka waktu penelitian : 5 (lima) bulan

4. Lokasi penelitian : Laboratorium Jurusan Teknik Pengairan

Mengetahui
Ketua Jurusan Teknik Sipil

Ir. Sugeng P. Budiono, MS
NIP. 19610125 198601 1 001



Malang, Desember 2009
Ketua Peneliti

Yatnanta Padma Devia, ST, MT
NIP. 19740801 19903 2 002

KATA PENGANTAR

Puji syukur kehadiran Tuhan Yang Maha Esa atas limpahan rahmat dan karunianya sehingga laporan penelitian dengan judul “**Instalasi Pengolahan Air Limbah Industri Kecil Rumah Tangga Elektroplating**” dapat terselesaikan dengan baik.

Dalam setiap proses produksi industri akan dihasilkan *by product*. Limbah termasuk dalam *by product* yang tidak bisa dijual/dimanfaatkan sehingga harus dibuang. Pembuangan limbah ini bila tidak diolah sebelumnya akan berakibat penurunan kualitas lingkungan dan berdampak negatif terhadap kehidupan masyarakat. Untuk itu limbah ini harus diolah terlebih dahulu sebelum dibuang ke lingkungan. Untuk industri besar dan menengah, sudah banyak yang melengkapi diri dengan Instalasi Pengolahan Air Limbah (IPAL). Namun yang seringkali menjadi masalah adalah industri kecil/rumah tangga, dimana limbah tidak diolah dikarenakan keterbatasan dana. Seperti halnya industri kecil rumah tangga elektroplating di Malang yang banyak mengandung bahan beracun dan berbahaya (33) dimana dalam penelitian ini akan dicari alternatif pengolahan air limbah yang sesuai bagi industri elektroplating skala rumah tangga ini.

Akhir kata, semoga penelitian ini dapat bermanfaat bagi pihak-pihak terkait. Di samping itu diharapkan penelitian dapat dikembangkan secara lebih mendetail sehingga dapat langsung diaplikasikan di lapangan.

Malang, Desember 2009

DAFTAR ISI

HALAMAN PENGESAHAN	ii
KATA PENGANTAR	iii
DAFTAR ISI	iv
DAFTAR TABEL	v
DAFTAR GAMBAR	vi
ABSTRAK	ix

BAB I. PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang	1
1.2. Perumusan Masalah	2
1.3. Batasan Masalah	2
1.4. Tujuan dan Manfaat	2

BAB II. TINJAUAN PUSTAKA

2.1. Proses Produksi Industri Elektroplating	3
2.2. Air Limbah Industri Elektroplating	7
2.3. Pengolahan Air Limbah Industri	9
2.3.1. Pengolahan Air Limbah dari Proses Pembersihan dan Perubahan Pelapisan	10
2.3.2. Pengolahan Air Limbah dari Proses Pelapisan dan Oksidasi	10
2.3.3. Pengolahan Air Limbah dari Proses Pelapisan Sianida.....	10
2.3.4. Pengolahan Air Limbah dari Proses Pertukaran Ion.....	10

BAB III. METODE PENELITIAN

3.1. Lokasi Penelitian	12
3.2. Alat dan Bahan	12
3.3. Tahapan Penelitian	
3.3.1 Pengumpulan Data	12
3.3.2 Pemeriksaan Laboratorium Kualitas Air Limbah	13

3.3.3	Percobaan Model Instalasi Pengolahan Air Limbah.....	14
3.3.4	Pemeriksaan Output Kualitas Air Limbah Yang Telah Diolah & Perhitungan Efisiensi Unit Pengolah Air Limbah	16
3.4.	Diagram Alir Penelitian -----	28

IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1.	Debit Air Limbah	18
4.2.	Pemeriksaan Kualitas Awal Air Limbah	18
4.3.	Percobaan Model Instalasi Pengolahan Air Limbah	19
4.4.	Analisis Hasil Percobaan Model Instalasi Pengolahan Air Limbah	
4.4.1.	Kualitas Output Bak Pengendapan	21
4.4.2.	Kualitas Output Bak Netralisasi	22
4.4.3.	Kualitas Output Bak Filtrasi	23
4.5.	Efisiensi Penurunan Kandungan Parameter-Parameter Air Limbah	28
4.6.	Perencanaan Instalasi Pengolahan Air Limbah	
4.6.1	Bak Netralisasi	30
4.6.2.	Bak Pengendapan	
4.6.2.1.	Perhitungan Kapasitas Bak Pengendap	32
4.6.2.2.	Analisa Kondisi Aliran	33
4.6.2.3.	Menghitung Waktu Tinggal Limbah cair	34
4.6.3.	Bak Filtrasi -----	35
4.6.4.	Bak Fitoremediasi	36

V. PENUTUP

5.1.	Kesimpulan	40
5.2.	Saran	40

DAFTAR PUSTAKA	viii
----------------------	------

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1.	Baku mutu limbah air limbah untuk industri elektroplating	9
Tabel 3.1.	Matriks percobaan variasi model bak filtrasi	16
Tabel 4.1.	Hasil pemeriksaan laboratorium kualitas awal air limbah industri elektroplating.....	19
Tabel 4.2.	Hasil kualitas output air limbah setelah melalui bak pengendapan.-	22
Tabel 4.3.	Hasil kualitas output air limbah setelah melalui bak netralisasi	23
Tabel 4.4.	Hasil kualitas output air limbah setelah melalui bak filtrasi	24
Tabel 4.5.	Rangkuman kualitas inlet dan outlet air limbah elektroplating percobaan model IPAL	28
Tabel 4.6.	Efisiensi penurunan kandungan TSS, DHL dan Cr total	29
Tabel 4.7-	Perhitungan kedalaman bak filtrasi	35

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1.	Bagan proses produksi industri elektroplating	5
Gambar 3.1.	Sketsa percobaan model instalasi pengolahan air limbah.....	15
Gambar 3.2.	Variasi model pada bak filtrasi	15
Gambar 3.3.	Diagram alir penelitian	17
Gambar 4.1.	Sketsa dimensi bak-bak IPAL (dalam cm)	20
Gambar 4.2.	Variasi model pada bak filtrasi	21
Gambar 4.3.	Kandungan TSS outlet bak filtrasi	24
Gambar 4.4.	Daya Hantar Listrik (DHL) outlet bak filtrasi	25
Gambar 4.5.	Kandungan Cr total outlet bak filtrasi	26
Gambar 4.6.	Suhu outlet bak filtrasi	27
Gambar 4.7.	pH outlet bak filtrasi	27
Gambar 4.8.	Bak netralisasi	31
Gambar 4.9	Potongan A-A bak netralisasi	31
Gambar 4.10.	Bak pengendap.....	34
Gambar 4.11	Potongan A-A bak pengendap.....	35
Gambar 4.12.	Bak filtrasi	36
Gambar 4.13.	Bak fitoremediasi.....	38
Gambar 4.14	Potongan A-A bak fitoremediasi	39

ABSTRAK

Keberadaan industri kecil skala rumah tangga di suatu wilayah dapat membantu meningkatkan perekonomian lokal. Salah satunya adalah industri elektroplating di kota Malang. Industri elektroplating yaitu industri yang bergerak dalam bidang pelapisan logam dengan cara mengendapkan logam pelapis pada logam atau plastik yang dilakukan secara elektronik. Dalam proses produksinya akan menghasilkan air limbah yang berbahaya bagi lingkungan bila dibuang tanpa pengolahan terlebih dahulu. Untuk itu tujuan penelitian ini adalah mengetahui kualitas air limbah yang dihasilkan industri elektroplating skala rumah tangga, memberikan alternatif pengolahan yang akan diuji dengan percobaan model skala laboratorium untuk mengetahui kualitas output dan efisiensi unit pengolahan.

Metode yang digunakan adalah sampling, pemeriksaan kualitas di laboratorium serta percobaan model instalasi pengolahan air limbah skala laboratorium dan analisis hidrolika untuk perhitungan instalasi pengolahan air limbah.

Hasil penelitian adalah kualitas awal air limbah belum memenuhi baku mutu Keputusan Gubernur Jawa Timur, Nomor 45 Tahun 2002 untuk parameter TSS, DHL, pH dan Cr total. Alternatif pengolahan adalah berturut-turut bak netralisasi, bak pengendapan, bak filtrasi dengan media penyaring zeolit-arang aktif-pasir silika dan dilanjutkan unit bak fitoremediasi. Efisiensi penurunan parameter-parameter air limbah cukup tinggi yakni TSS 96,67% ; DHL 88,84% ; Cr total 94,37%.

Kata kunci : air limbah, efisiensi, IPAL, industri kecil rumah tangga elektroplating

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 LATAR BELAKANG

Salah satu penopang perekonomian negara adalah keberadaan industri-industri, baik itu skala besar, menengah maupun kecil (rumah tangga). Penjualan produk dan penyerapan tenaga kerja membantu meningkatkan pendapatan masyarakat. Namun krisis ekonomi dan persaingan global yang terjadi di tahun-tahun akhir ini cukup mengguncang keberadaan industri-industri ini khususnya industri besar dan menengah. Salah satu solusi, pemerintah mensiasati dengan menggalakkan industri-industri kecil/skala rumah tangga yang tidak membutuhkan modal besar namun dapat menggerakkan perekonomian masyarakat setempat.

Dalam setiap proses produksi, bahan baku dan bahan penunjang diproses untuk dijadikan produk. Di samping itu juga seringkali menghasilkan *by product*, baik yang masih bisa dijual/dimanfaatkan maupun yang tidak bisa dijual/dimanfaatkan. Limbah termasuk dalam *by product* yang tidak bisa dijual/dimanfaatkan sehingga harus dibuang. Pembuangan limbah ini sendiri akhirnya menjadi suatu permasalahan. Kualitas limbah yang buruk akan dapat mencemari lingkungan sekitar yang berakibat penurunan kualitas lingkungan dan berdampak negatif terhadap kehidupan masyarakat. Untuk itu limbah ini harus diolah terlebih dahulu sebelum dibuang ke lingkungan. Untuk industri besar dan menengah, dikarenakan modal dan pemasukan yang cukup besar, serta tuntutan peraturan perundangan yang berlaku, maka industri-industri melengkapi diri dengan Instalasi Pengolahan Air Limbah (IPAL). Namun yang seringkali menjadi masalah adalah industri kecil/rumah tangga, dimana limbah tidak diolah dikarenakan keterbatasan dana. Di lain pihak kesadaran masyarakat juga sudah cukup tinggi terhadap kualitas lingkungan sehingga menuntut pengolahan limbah yang baik dari industri-industri.

Salah satu industri skala rumah tangga yang berada di kota Malang Jawa Timur adalah industri elektroplating. Industri elektroplating adalah industri yang bergerak dalam bidang pelapisan logam dengan cara mengendapkan logam pelapis pada logam atau plastik yang dilakukan secara elektronik. Logam-logam yang biasa digunakan adalah tembaga, krom, nikel, dan seng yang dilarutkan bersama sianida, asam, alkali, dan fosfat. Limbah yang dihasilkan dalam industri elektroplating ini adalah dalam bentuk air limbah (cair) dan

mengandung **bahan** beracun dan berbahaya (B3) seperti yang telah diuraikan di atas. Dari hasil uji laboratorium **menunjukkan** kandungan **Cr** dalam air limbah **sebesar** 288,82 mg/l, sedangkan kadar **maksimum** yang diperbolehkan sebesar 0,5 mg/l (Keputusan Gubernur Jawa Timur No. 45 tahun 2002). Pada saat ini industri electroplating skala rumah tangga tersebut **belum mempunyai Instalasi Pengolahan Air Limbah (IPAL)**. Untuk itu dalam penelitian ini akan dicari alternatif pengolahan yang sesuai bagi industri electroplating skala rumah tangga ini.

1.2 PERUMUSAN MASALAH

Berdasarkan latar belakang di atas maka permasalahan dapat dirumuskan sebagai berikut:

1. Bagaimana kualitas **air** limbah yang dihasilkan **industri** electroplating skala rumah **tangga** pada industri electroplating yang dijadikan studi kasus?
2. Bagaimana alternatif pengolahan **air** limbah industri electroplating ?
3. Bagaimana kualitas air limbah hasil pengolahan pemodelan **IPAL** skala laboratorium **dan efisiensi** tiap unitnya ?

1.3 BATASAN MASALAH

Adapun yang menjadi **batasan masalah** dalam penelitian ini adalah :

1. Lokasi studi **adalah** industri kecil skala rumah tangga electroplating **Klayatan - Malang - Jawa Timur**.
2. Parameter-parameter kualitas air **limbah** yang diteliti **adalah T (suhu), TSS, pH, dHL dan Cr**.

1.4 TUJUAN DAN MANFAAT

Tujuan penelitian ini adalah mencari alternatif instalasi pengolahan air limbah industri rumah tangga electroplating yang sederhana dan berefisiensi tinggi.

Sedangkan manfaatnya adalah dengan adanya alternatif pengolahan air limbah industri rumah tangga electroplating yang sederhana, tepat guna dan berefisiensi tinggi, maka diharapkan mampu mengurangi tingkat pencemaran terhadap lingkungan yang berarti menjaga kualitas lingkungan dan kualitas hidup masyarakat yang berada di sekitarnya.

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Proses Produksi Industri Elektroplating

Elektroplating adalah pelapisan logam dengan menggunakan teknik elektrokimia am elektrolisa. Secara teknis, elektroplating disebut juga sebagai teknik lapis listrik, yaitu proses pengendapan logam dalam bentuk ion logam yang dialirkan oleh arus listrik searah melalui elektroda dalam larutan elektrolit. Teknik elektroplating biasanya dikerjakan dengan menggunakan bak larutan elektrolit yang mengandung larutan logam dalam bentuk ion. Dalam bak elektrolit dimasukkan sumber arus listrik searah melalui elektroda. Arus listrik searah mengalir dari kutub positif ke kutub negatif, atau dari anoda ke katoda dengan membawa ion logam yang akan terkumpul pada katoda. Logam yang akan dilapis, biasanya dalam bentuk produk logam, disebut juga sebagai benda kerja. Dalam praktek, benda kerja atau produk logam yang akan dilapis, dihubungkan sebagai katoda. Selama arus listrik searah mengalir dari anoda ke katoda maka ion logam dalam larutan elektrolit akan menuju ke katoda dan terkumpul pada benda kerja. Dengan proses tersebut benda kerja atau produk logam akan dilapisi dengan logam yang dikehendaki.

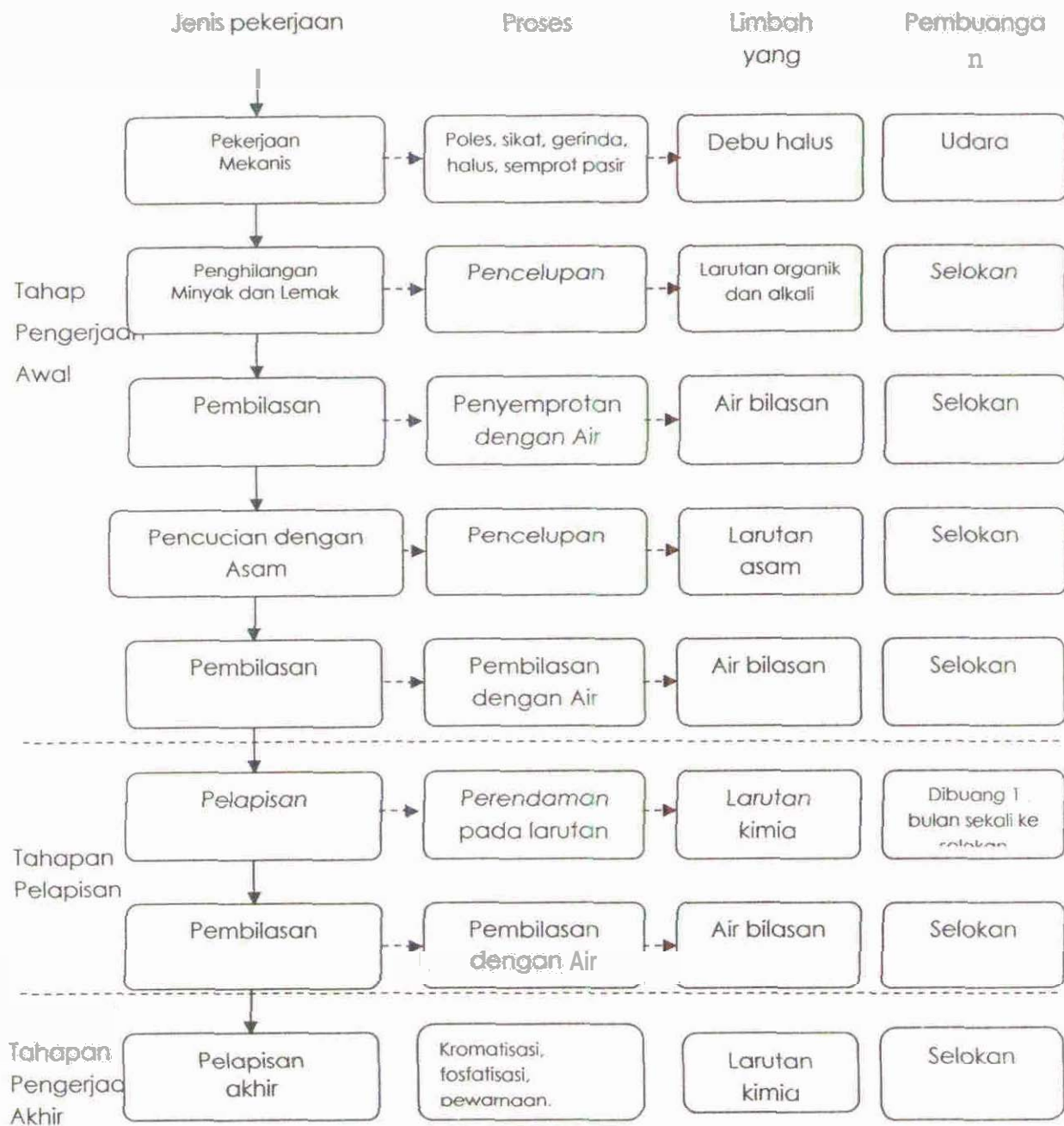
Kegiatan elektroplating biasanya merupakan proses perlakuan akhir dari produksi barang logam. Elektroplating dilakukan untuk berbagai tujuan, misalnya agar produk akhir yang dihasilkan memiliki penampilan lebih menarik/indah, meningkatkan mutu penampilan, lebih tahan terhadap korosi, tidak mudah aus, memperhalus permukaan, atau untuk tujuan khusus seperti meningkatkan daya hantar listrik atau panas. Umumnya, produk logam bisa dilapisi dengan menggunakan emas, nikel, tembaga, seng, kuningan, perak, krom, atau logam pelapis lainnya. Produk industri yang membutuhkan pelapisan logam antara lain adalah, peralatan rumah tangga yang terbuat dari besi, kuningan, dan aluminium. Biasanya produk seperti, meja, sendok makan, dan alat dapur lainnya dilapis dengan menggunakan logam nikel dan krom.

Dalam kegiatan elektroplating umumnya banyak menggunakan bahan kimia berbahaya dan bersifat racun. Meskipun jumlah limbah yang dihasilkan tidak sebanyak limbah industri lainnya, tetapi jika limbah yang dihasilkan tidak dikelola dengan baik, bin

menimbulkan masalah dan mencemari lingkungan. Mulai dari tahap pengerjaan awal hingga tahap pengerjaan akhir, industri elektroplating banyak menggunakan bahan-bahan kimia. Selain sebagai bahan utama sebagai bahan larutan elektrolit, bahan kimia lainnya digunakan sebagai bahan untuk membantu dalam proses pencucian, sampai proses pelapisan dalam tahap pengerjaan akhir.

Penggunaan bahan kimia untuk industri elektroplating biasanya bisa bertahan lama. Bahan kimia yang digunakan bisa berkurang karena penguapan atau tumpah. Larutan elektrolit misalnya, bisa bertahan sampai sangat lama. Dengan menggunakan indikator untuk mengetahui efektivitas bahan, larutan elektrolit bisa diperbaiki dengan menambahkan bahan tertentu untuk menstabilkan kandungannya. Meskipun penggunaannya sangat hemat, pada umumnya bahan kimia yang digunakan adalah logam berat dan bersifat racun. Bahan-bahan tersebut berpotensi menjadi sumber cemaran, baik yang masih berupa bahan baku maupun senyawa kimia yang dihasilkan selama proses elektroplating. Larutan elektrolit yang digunakan untuk elektroplating mempunyai masa pakai. Penggantian larutan elektrolit akan menghasilkan air limbah yang mengandung bahan kimia yang berbahaya. Air limbah larutan elektrolit tidak boleh langsung dibuang tetapi harus diolah terlebih dahulu.

Proses dari produksi industri elektroplating seperti terlihat pada Gambar 2.1.



Gambar 2.1. Bagan proses produksi industri elektroplating

Keterangan :

1. Tahap pengerjaan awal

a) Pekerjaan Mekanis

Permukaan benda biasanya dihaluskan dengan cara dipoles (*polishing*), disikat (*brushing*), digerinda (*grinding*), dihaluskan (*buffing*), atau dengan semprot pasir

(*sand blasting*). Cara ini disebut juga dengan pembersihan mekanik. Permukaan benda yang dihaluskan dengan cara poles biasanya menggunakan kain poles yang terbuat dari bahan kanvas, belacu, satin, kulit, laken, dan sebagainya.

b) Penghilangan minyak dan lemak

Lemak dan minyak pada benda dapat mengganggu proses pelapisan. Jika pada permukaan benda terdapat minyak atau lemak, kontak logam dasar dengan logam pelapis akan terganggu. Selain itu, minyak dan lemak dapat mengurangi daya hantar listrik. Untuk menghilangkan minyak dan lemak, maka digunakan bahan penolong, yaitu dengan cara mencelupkan benda kerja dalam larutan pencuci. Bahan pencuci yang dapat melarutkan lemak dan minyak umumnya adalah larutan yang mengandung zat organik dan bersifat alkali.

c) Pembilasan

Pembilasan dilakukan dengan cara menyemprot benda kerja.

d) Pencucian dengan asam (pembersihan karat)

Karat adalah lapisan oksida yang menempel pada permukaan logam. Karat yang menempel pada benda kerja harus dibersihkan. Lapisan karat akan mengurangi ikatan logam pelapis dengan benda kerja. Benda kerja yang masih mengandung karat membuat mutu pelapisan yang dihasilkan akan menurun. Pembersihan karat dapat dilakukan dengan mencelupkan benda kerja ke dalam larutan asam. Bak penampung larutan asam harus terbuat dari bahan yang tahan karat, misalnya stainless, plat baja karbon yang dilapisi PVC, karet, plastik, atau bahan tahan asam lainnya. Larutan asam untuk penghilang karat biasanya adalah asam sulfat (H_2SO_4) atau asam klorida (HCl).

e) Pembilasan

Sebelum memasuki tahap pelapisan, benda kerja yang sudah dibersihkan biasanya dibilas dengan air. Pembilasan bertujuan untuk menghilangkan sisa bahan pencuci yang masih menempel. Pembilasan dilakukan dengan mencuci benda kerja dalam bak.

2. Tahap pelapisan logam

a) Pelapisan

Teknik elektroplating untuk berbagai macam logam pada dasarnya adalah sama. Perbedaan biasanya terletak pada larutan elektrolit dan elektroda yang digunakan.

Pelapisan logam tertentu menggunakan jenis larutan elektrolit tertentu. Jenis elektrolit dan elektrode yang digunakan disesuaikan dengan jenis logam yang akan dilapis.

b) Pembilasan

Pembilasan dilakukan dengan mencuci benda kerja dalam bak.

3. Tahap pengerjaan akhir

Meski benda kerja telah dilapis dengan logam yang dikehendaki, tetapi untuk keperluan perlindungan biasanya perlu dilapisi lagi dengan pelapis lainnya. Proses pengerjaan akhir meliputi kromatisasi, fosfatisasi, pewarnaan, dan lapis transparan (*vernishing*). Pelapisan akhir juga diperlukan untuk mencegah timbulnya bintik atau noda yang muncul setelah proses pelapisan. Pelapisan akhir umumnya diperlukan untuk melindungi benda kerja dari goresan atau untuk menambah keindahan produk.

2.2. Air Limbah Industri Elektroplating

Air limbah industri elektroplating adalah seluruh buangan cair yang berasal dari hasil proses seluruh kegiatan elektroplating. Bahan kimia yang digunakan dan buangan (limbah) yang ditimbulkan oleh industri elektroplating dapat membahayakan manusia dan lingkungan sekitarnya. Sifat-sifat ini perlu diketahui oleh semua pihak yang terlibat dalam kegiatan industri elektroplating.

Sifat racun suatu bahan adalah berpotensi suatu senyawa kimia yang menyebabkan luka secara langsung pada jaringan tubuh. Efek racun bisa bersifat luka lokal atau luka sistematis, yang bukan saja merusak bagian tertentu tapi merusak sistem jaringan organ tubuh manusia. Ada tiga jenis kontak dengan zat kimia yang mungkin terjadi selama proses elektroplating, yaitu kontak dengan kulit dan mata, pernafasan, dan tertelan.

Kontak dengan kulit dan mata, sangat penting untuk diperhatikan karena frekuensi kejadiannya sering terjadi. Akibat kontak pada kulit adalah iritasi atau zat kimia terserap melalui kulit sehingga mengakibatkan keracunan. Gangguan pada pernafasan dapat menyerang melalui terhisapnya udara yang tercemar oleh zat-zat kimia. Tertelannya zat-

zat kimia dapat terjadi karena kontak dengan udara yang tercemar oleh debu/uap zat kimia atau tercemarnya makanan/minuman oleh zat kimia.

Senyawa-senyawa kimia dalam proses **elektroplating** adalah sebagai berikut :

a. **Jenis Asam**

Larutan elektrolit yang termasuk jenis asam adalah asam khromat, asam asetat, asam citrat, asam flouborat, asam format, asam khlorida, asam flourida, asam nitrat, asam fosphat, asam sulfamat, dan asam sulfat. Semua jenis asam ini dapat menyebabkan, antara lain, terganggunya fungsi kulit, saluran pernapasan, iritasi pada selaput lendir, korosif terhadap gigi, serta kulit terbakar.

b. **Jenis Basa**

Larutan elektrolit jenis basa adalah amonium hidroksida, potassium hidroksida, sodium hidroksida, sodium karbonat, sodium pyrophosphat, sodium silikat, dan trisodium phtosphat. Bahan alkali basa tidak begitu berbahaya bagi sistem saluran pernapasan, kecuali bila mendadak terhisap debunya akan timbul rasa gatal dan batuk-batuk. Sama halnya asam, basa juga dapat mengakibatkan iritasi pada kulit.

c. **Jenis Garam dan Senyawa lainnya**

Senyawa sianida, trichloroethylene, gas hidrogen, logam tembaga, logam nikel, logam seng, dan bahan jenis garam atau senyawa lainnya kemungkinan bisa tercampur dengan zat-zat kimia lainnya yang berbeda maupun terjadi kombinasi bermacam-macam gas yang dapat membahayakan keselamatan pekerja. Pemaparan jenis bahan kimia di atas dapat mengakibatkan kematian. Dari beberapa macam jenis garam di atas, senyawa sianida yang paling harus diberi perhatian lebih. Senyawa ini harus diisolasi dan dijauhkan dari senyawa asam atau oksidator lainnya. Semua persediaan garam-garam sianida sebaiknya disimpan dalam kontainer tertutup rapat pada ruangan terkontrol, terpisah dari senyawa-senyawa kimia lainnya.

Besarnya angka maksimum parameter pencemar dari baku mutu air limbah untuk industri seperti yang tercantum pada **Tabel 2.1** berikut.

Tabel 2.1. Baku Mutu Air Limbah Untuk Industri Elektroplating

Volume Limbah Cair Maksimum per satuan produk 20 liter/m ² produk yang dilapisi	
Parameter	Kadar Maksimum (mg/l)
TSS	20
CN	0,2
Cr ⁺⁶	0,1
Cr. Total	0,5
Cu	0,6
Zn	1
Ni	1
Cd	0,05
Pb	0,1
pH	6 - 9

Sumber: Keputusan Gubernur Jawa Timur, Nomor 45 Tahun 2002

23. Pengolahan Air Limbah Industri

Pembersihan benda yang akan dilapisi adalah kegiatan pendahuluan dari proses pelapisan maupun pada proses perubahan pelapisan khususnya selalu didahului dengan pengecatan ataupun pemolesan. Jika menggunakan pendahuluan sebelum melakukan kegiatan seperti fosfat, maka banyak menggunakan bak-bak yang berupa basa alam.

2.3.1. Pengolahan Air Limbah dari Proses Pembersihan dan Perubahan Pelapisan

Buangan pembersihan basa biasanya dipisahkan dari buangan asam untuk menjaga sistem perpipaan yang ada. Jenis-jenis zat ini dicampur dengan basa lainnya apabila perlu menghasilkan racunnya, baru kemudian dicampur dengan buangan asam untuk melakukan netralisasi. Pada umumnya pembersihan dengan basa akan diikuti dengan penambahan asam. Pengolahan yang cukup murah dapat dilakukan dengan menggunakan bahan kapur. Sedangkan apabila air limbahnya bersifat basa maka sebagai netralisasi biasanya dipergunakan asam sulfat yang harganya relatif murah.

2.3.2. Pengolahan Air Limbah dari Proses Pelapisan dan Oksidasi

Bagaimana limbah basa dan asam dari hasil pembilasan selalu menetralkan, pada proses menggunakan oksidasi maka bertambah lagi air limbahnya dengan komponen berupa *metalik compound*, bahan beracun tambahan asam serta basa lainnya. Bahan-bahan asam tersebut berikut basa akan tetap dipisahkan sampai bahan yang beracun dapat dinetralkan, barulah kemudian mereka dapat dibawa bersama untuk diadakan proses netralisasi.

2.3.3. Pengolahan Limbah dari Proses Pelapisan Sianida

Salah satu metode untuk mengolah buangan yang mengandung sianida telah banyak dilaksanakan, akan tetapi oksidasi melalui basa klorin adalah yang paling banyak dipergunakan. Oksidasi ini menghasilkan proses sampai selanjutnya memerlukan tambahan waktu yang cukup agar bisa menjadi karbon dioksida dan nitrogen.

2.3.4. Pengolahan Limbah pada Proses Pertukaran Ion

Pemakaian cara pertukaran ion untuk mengambil kembali bahan kimia yang berada di dalam air limbah banyak dipergunakan di pabrik-pabrik, di pesawat udara yang memproduksi bahan-bahan akhir yang terbuat dari logam seperti krom, tembaga, emas, perak, nikel, timah dan pelapisan seng. Kromik dan elektrolisa sulfur serta pembersihan permukaan benda

termasuk juga pelapisan kromat, pemberian fosfat dan proses penghitaman. Air bilasan yang mengandung lapisan sianida diolah untuk dihilangkan sianidanya melalui oksidasi, sedangkan bilasan sianida, bilasan asam dan logam-logam berat akan dinetralkan terus mengendap dan dibuang ke saluran pembuangan air limbah. Pada beberapa pengolahan bilasan yang mengandung asam kromik dan kromat akan dikembalikan. Air bilasan dilewatkan melalui sebuah resin sebagai perubahan kation, langkah pertama adalah mengurangi ion sodium, tetapi juga mengambil aluminium, magnesium, serta tembaga. Ion kromat kemudian dihilangkan melalui dua perubahan ion. Air buangan yang telah mengalami pengurangan bahan-bahan mineral baru digabungkan dan dikembalikan ke dalam tangki pembilas untuk dipergunakan kembali.

BAB III

METODE PENELITIAN

3.1. Lokasi Penelitian

a. Obyek Uji

Industri kecil rumah tangga elektroplating yang menjadi obyek uji penelitian ini berlokasi di Jalan Klayatan, Kota Malang, Jawa Timur

b. Penelitian Laboratorium

- Pemeriksaan kualitas air limbah awal dilakukan di Laboratorium Teknik Pengairan Universitas Brawijaya Malang
- Pembuatan pilot project dilakukan di Laboratorium Teknik Pengairan Universitas Brawijaya Malang

3.2. Alat dan Bahan

Peralatan yang digunakan dalam penelitian adalah :

- **Bak-bak model instalasi pengolahan air limbah.**
- **Bak penampung hasil pengolahan.**
- **Botol sampel, sebagai tempat sampel air limbah yang diteliti.**
- **Kasa plastik/kain sebagai sekat atau pemisah antara media penyaring satu dengan yang lain pada bak filtrasi.**
- **Stop watch.**

Sedangkan bahan-bahan yang digunakan dalam penelitian ini, antara lain:

- Batu kapur
- Zeolit
- Pasir silica
- **Arang aktif**

3.3. Tahapan Penelitian

3.3.1 Pengumpulan Data

Data-data awal yang diperlukan dalam penelitian ini adalah :

a **Data proses produksi**

Data ini akan dipakai untuk mengetahui sumber-sumber air limbah yang dihasilkan sekaligus karakteristiknya. Selain itu data debit juga diperlukan dalam perencanaan instalasi pengolahan air limbah.

b **Data layout industri**

Data layout ini digunakan untuk mengetahui lokasi-lokasi ruang proses produksi elektroplating serta lahan yang masih tersisa yang bisa digunakan untuk instalasi pengolahan air limbah.

Data-data ini diperoleh dari bagian administrasi industri elektroplating.

3.3.2 Pemeriksaan Laboratorium Kualitas Air Limbah

Untuk merencanakan instalasi pengolahan air limbah yang tepat untuk industri elektroplating ini maka diperlukan data kualitas air limbah awal. Pemeriksaan diawali dengan mengambil sampling di selokan pembuang air limbah industri elektroplating yang menampung air limbah proses dan larutan elektrolit, untuk kemudian dibawa ke laboratorium dan dilakukan pemeriksaan.

Dari data laboratorium tersebut akan dibandingkan dengan standar baku mutu limbah cair industri elektroplating yang masih berlaku (Keputusan Gubernur Jawa Timur No. 45 tahun 2002), apakah layak dibuang ke lingkungan ataukah belum layak.

Adapun parameter-parameter kualitas air limbah yang diperiksa adalah :

- TSS (*Total Suspended solid*) yaitu jumlah berat dalam mg/l kering lumpur yang ada di dalam air limbah setelah mengalami penyaringan dengan membran berukuran 0,45 mikron.
- T (suhu) yakni temperatur air limbah.
- pH yaitu derajat keasaman dalam air, dimana air limbah ini bersifat asam atau basa
- DHL (*daya hantar listrik*) yaitu kemampuan air untuk menghantarkan arus listrik, dimana daya hantar tersebut sebanding dengan kadar zat terlarut yang mengion dalam air
- Cr yaitu kadar khromium dalam air yang dinyatakan dalam mg/l.

3.3.3 Percobaan Model Instalasi Pengolahan Air Limbah

Penelitian ini menggunakan prinsip pengolahan air limbah secara fisik yakni menggunakan alat dan bahan yang dirancang berdasarkan literature yang ada. Adapun bagian-bagian model ini adalah :

1. Inlet

Air limbah yang akan diolah adalah pencampuran air limbah dari selokan dan larutan elektrolit yang dibuang sebulan sekali.

2. Bak Pengendapan

Bak pengendapan terbuat dari bahan mika dengan dengan ukuran $p \times l \times t = 20 \times 20 \times 50$ cm Fungsi dari bak pengendapan adalah untuk mengendapkan partikel-partikel berukuran besar yang terkandung dalam air limbah tersebut.

3. Bak Netralisasi

Bak netralisasi terbuat dari bahan mika dengan ukuran $p \times l \times t = 20 \times 20 \times 50$ cm. Fungsi dari bak netralisasi adalah untuk menetralsisir agar nilai pH berkisar antara 6,5 sampai dengan 9 dengan jalan menambahkan serbuk kapur (CaCO_3) dalam bak.

4. Tabung Filtrasi

Bak elektrolisis terbuat dari bahan mika dengan dengan ukuran $p \times l \times t = 20 \times 20 \times 90$ cm. Pada tabung filtrasi ini terdapat beberapa lapisan-lapisan bahan, antara lain :

a. Pasir Silika

Ukuran pasir silika yang berfungsi sebagai saringan lambat ini adalah butiran dengan diameter butiran 0,2 – 0,35 milimeter dengan ketebalan 30 cm. Fungsi dari pasir silika adalah mengurangi bahan-bahan kimia, membantu mengurangi warna yang disebabkan oleh arang aktif ataupun air tercemar dan menghilangkan bau.

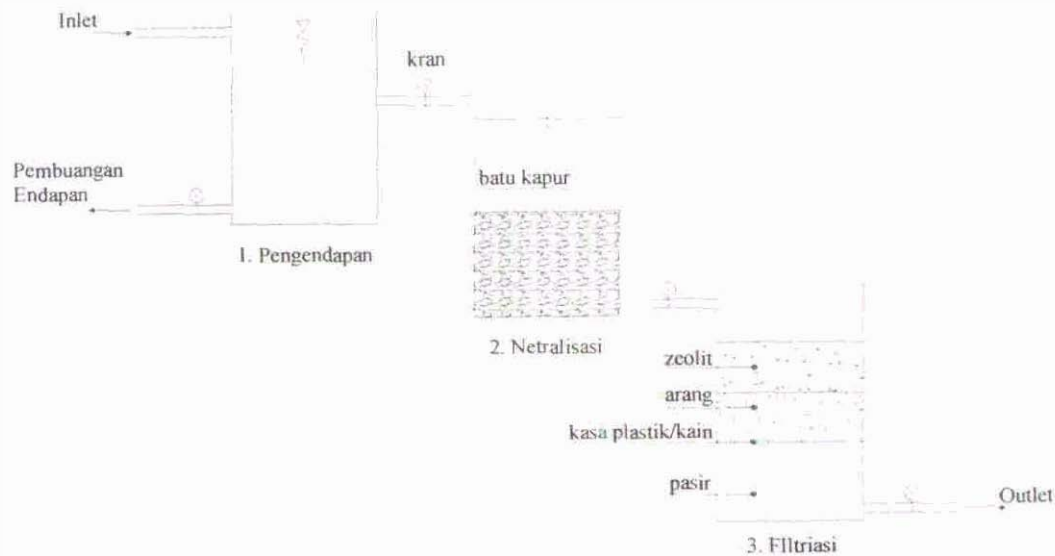
b. Arang Aktif

Ukuran arang aktif yang berfungsi sebagai saringan cepat ini adalah butiran dengan diameter 0,85 – 0,42 milimeter dengan ketebalan 40 cm. Fungsi dari arang aktif ini adalah menyerap partikel-partikel halus dan mengikatnya di dalam air, mengurangi warna dan bau pada air limbah.

c. Zeolit

Ukuran zeolit yang berfungsi sebagai saringan cepat dan lambat ini adalah butiran dengan diameter 0,85 – 0,25 milimeter. Fungsi dari pasir zeolit adalah mampu menyerap zat-zat logam berat yang terkandung di dalamnya.

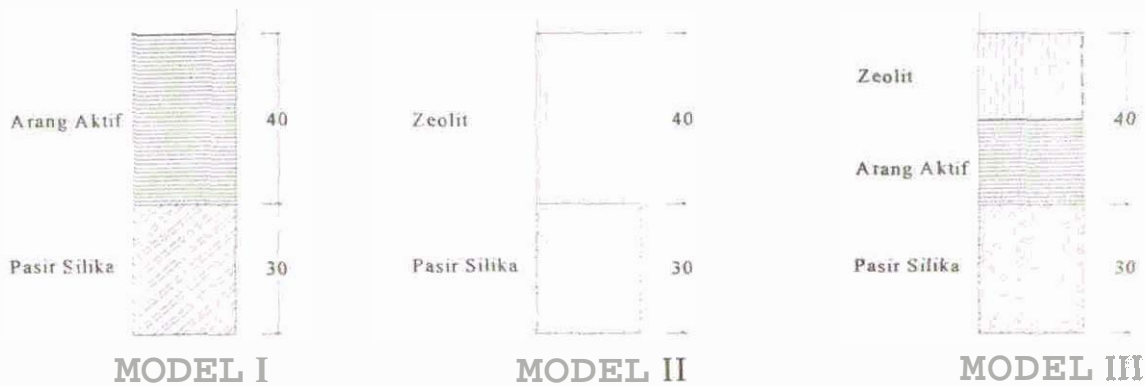
Sketsa percobaan model instalasi pengolahan air limbah industri kecil rumah tangga elektroplating dapat ditunjukkan pada **Gambar 3.1** di bawah ini :



Gambar 3.1. Sketsa percobaan model instalasi pengolahan air limbah

Variasi Percobaan

Tujuan penelitian ini adalah untuk mengolah air limbah industri kecil rumah tangga elektroplating agar memenuhi baku mutu yang berlaku. Penelitian divariasikan pada model lapisan bahan bak filtrasi yakni variasi penggunaan bahan, ketebalan bahan media filter serta waktu sampling. Variasi-variasi tersebut dapat dilihat pada **Gambar 3.2** di bawah ini :



Gambar 3.2 Variasi modd pada bak filtrasi

Untuk variasi waktu diambil per 15, 30, 60 dan 120 menit. Sampling dilakukan pada setiap output unit. Khusus untuk bak filtrasi dilakukan sampling berdasarkan variasi waktu di atas.

3.3.4 Pemeriksaan Output Kualitas Air Limbah Yang Telah Diolah dan Perhitungan Efisiensi Unit Pengolah Air Limbah

Sampling dilakukan di output setiap unit. Khusus di bak filtrasi sampling divariasikan dengan waktu. Secara lengkap matriks percobaan bak filtrasi akan ditabelkan berikut ini.

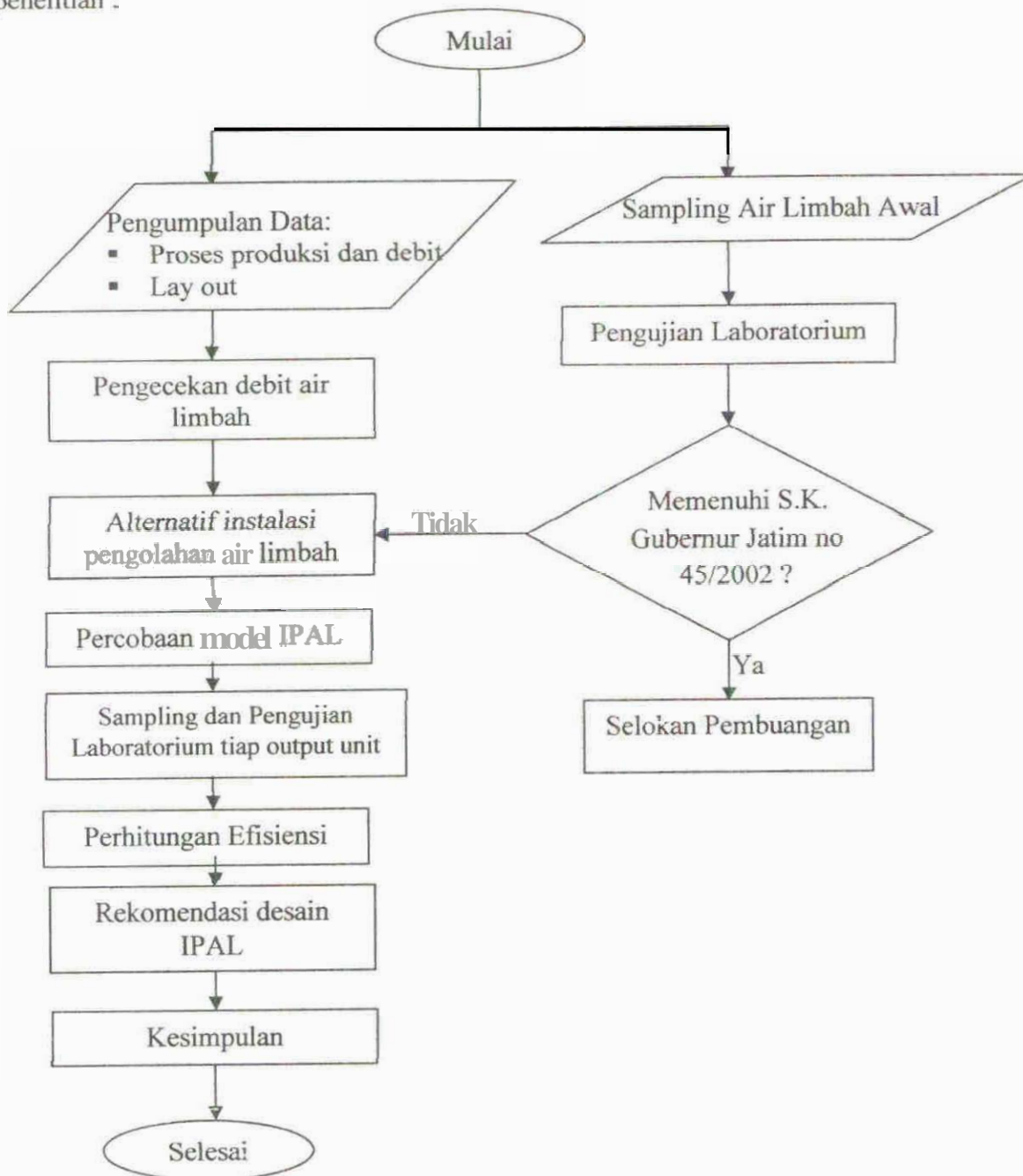
Tabel 3.1. Matriks percobaan variasi model bak filtrasi

Parameter	TSS				DHL				Cr				T (suhu)				pH			
	15	30	60	120	15	30	60	120	15	30	60	120	15	30	60	120	15	30	60	120
Model I																				
Model II																				
Model III																				

Dengan mengetahui kualitas input dan output air limbah maka akan dapat dihitung efisiensi penurunan dari setiap unit pengolahan air limbah yang ada, apakah cukup efisien (80 – 100%) atau tidak (<80%).

34. D i m Alir Penelitian

Untuk memudahkan memahami alur dari penelitian ini maka dibuat diagram alir penelitian :



Gambar 3.3. Diagram Alir Penelitian

BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1. Debit Air Limbah

Besarnya debit air limbah dari industri electroplating berskala rumah tangga ini diperoleh dari pengamatan di lapangan yakni dengan mengukur besarnya saluran dan kecepatan di lapangan. Untuk menghitung debit dapat menggunakan rumus sebagai berikut :

$$Q = A.v$$

dengan :

Q = kapasitas saluran (m^3/dt)

A = luas penampang saluran (m^2)

v = kecepatan aliran rerata (m/dt)

- Luas saluran (m^2)

$$A = b \times h$$

$$b = 0,10 \text{ m}$$

$$h = 0,065 \text{ m}$$

$$A = 0,10 \times 0,065 = 0,0065 \text{ m}^2$$

- Kecepatan aliran rerata (m/dt)

Kecepatan aliran rerata dapat diperoleh dengan cara mengapungkan benda dengan jarak tertentu dan mencatat waktu yang ditempuh dalam jarak tersebut. Dari penelitian yang dilakukan di lapangan didapatkan $v = 0,0054 \text{ m/dt}$.

- Debit air limbah dari industri electroplating berskala rumah tangga tersebut adalah sebagai berikut :

$$Q = A.v = 0,0065 \times 0,054 = 0,00035 \text{ m}^3/dt$$

Jadi debit air limbah industri kecil rumah tangga electroplating adalah sebesar $0,00035 \text{ m}^3/dt \approx 0.035 \text{ lt/dt}$.

4.2. Pemeriksaan Kualitas Awal Air Limbah

Untuk merencanakan instalasi pengolahan air limbah industri electroplating ini maka di lakukan sampling awal air limbah yang belum diolah sama sekali ini. Sampel dibawa ke laboratorium dan diperiksa kualitasnya. Hasil pemeriksaan kualitas air limbahnya adalah sbb :

Tabel 4.1. Hasil pemeriksaan laboratorium kualitas awal air limbah industri elektroplating

No.	Parameter	Satuan	Hasil	Baku Mutu Air Limbah (SK Gub Jatim no 45/2002)	Keterangan (Memenuhi/tidak memenuhi baku mutu)
1	Suhu	°C	25,2	Suhu udara \pm 3	Memenuhi
2	TSS	mg/l	300	20	Tidak memenuhi
3	DHL	μ S/cm	33,5	1,25	Tidak memenuhi
4	pH	-	1,4	6,5 – 8,5	Tidak memenuhi
5	Cr Total	mg/l	288,82	0,5	Tidak memenuhi

Sumber : Laboratorium Teknik Pengairan Universitas Brawijaya Malang, 2009

Dari hasil pemeriksaan laboratorium kualitas awal air limbah diperoleh hasil bahwa empat dari lima parameter (suhu, TSS, DHL, pH, dan Cr total) tidak memenuhi standar baku mutu air limbah yang berlaku (SK. Gubernur JATIM No 45 Tahun 2002). Air limbah yang dikeluarkan bersifat asam, mengandung padatan yang cukup tinggi dan masih mengandung logam berat yakni Cr. Untuk itu air limbah ini memang perlu diolah agar aman dibuang ke lingkungan. Data kualitas awal ini akan menjadi input bagi pemodelan instalasi pengolahan air limbah yang akan dibuat.

4.3. Percobaan Model Instalasi Pengolahan Air Limbah

Berdasarkan hasil pemeriksaan kualitas awal air limbah industri elektroplating, maka akan dicari alternatif pengolahan yang sesuai. Secara garis besar, air limbah masih bersifat asam, mengandung padatan yang cukup tinggi dan logam berat Cr. Untuk itu dalam pengolahannya diperlukan netralisasi agar tidak bersifat asam, pengendapan untuk menurunkan padatan dan logam berat serta filtrasi sebagai pengolahan lebih lanjut.

Dalam penelitian ini direncanakan IPAL sederhana dengan tiga bak yakni bak pengendapan, bak netralisasi, dan bak filtrasi. Untuk perlakuan bak pengendapan dan netralisasi tidak dilakukan variasi perlakuan. Namun untuk bak filtrasi dilakukan variasi bahan dan ketebalan media penyaring serta waktu sampling. Metode filtrasi yang digunakan adalah filtrasi aliran vertikal ke bawah (*vertical down flow*) dengan media penyaring arang aktif, zeolit, dan pasir silika.

Berikut adalah dimensi dari bak-bak yang digunakan dalam percobaan model instalasi pengolahan air limbah elektroplating ini :

a) Bak Pengendapan

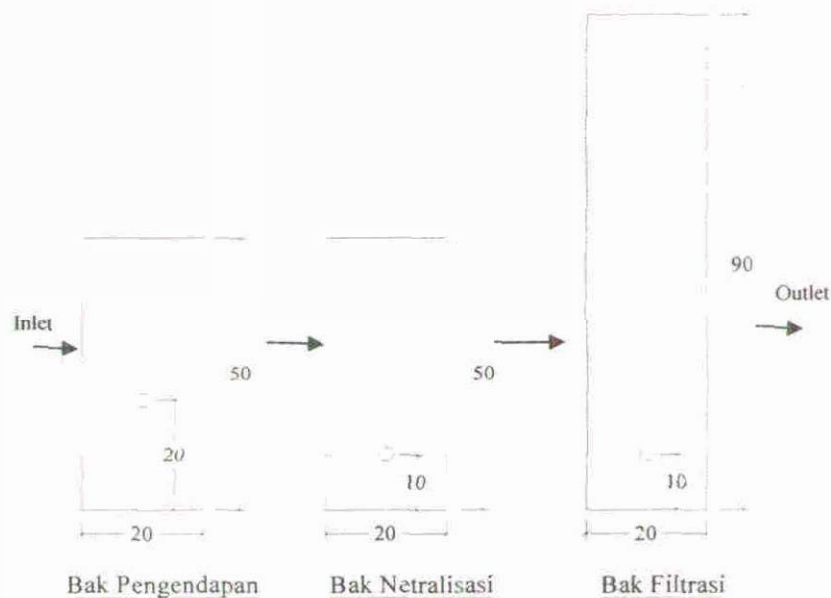
- Ukuran bak pengendap = 20 cm x 20 cm x 50 cm = 20000 cm³
- Jarak lubang outlet = 20 cm (dari dasar tabung)
- Diameter lubang outlet = 0,5 inchi = 1,273 cm
- Ketebalan bak pengendapan = 0,5 cm

b) Bak Netralisasi

- Ukuran bak netralisasi = 20 cm x 20 cm x 50 cm = 20000 cm³ = 0,02m³
- Jarak lubang outlet = 10 cm (dari dasar tabung)
- Diameter lubang outlet = 0,5 inchi = 1,273 cm
- Ketebalan bak netralisasi = 0,5 cm

c) Bak Filtrasi

- Ukuran bak filtrasi = 20 cm x 20 cm x 90 cm = 360000 cm³
- Jarak lubang outlet = 10 cm (dari dasar tabung)
- Diameter lubang outlet = 0,5 inchi = 1,273 cm
- Ketebalan bak filtrasi = 0,6 cm



Gambar 4.1. Sketsa dimensi bak-bak IPAL (dalam cm)

Untuk media penyaring digunakan 3 variasi baik bahan maupun ketebalan media. Model I terdiri atas arang aktif-pasir silika, model II terdiri atas zeolit-pasir silika, dan model III zeolit-arang aktif-pasir silika Variasinya adalah sebagai berikut :



Gambar 4.2 Variasi model pada bak filtrasi

4.4. Analisis Hasil Percobaan Model Instalasi Pengolahan Air Limbah

Air limbah elektroplating dialirkan ke percobaan model instalasi pengolahan air limbah dan pada setiap output unit akan diambil sampel untuk diperiksa kualitasnya di laboratorium. Untuk output bak pengendapan dan bak netralisasi diambil sekali sedangkan bak filtrasi diambil sampel dengan variasi waktu 15, 30, 60, dan 120 menit. Dengan interval waktu tersebut diharapkan dapat diketahui kualitas outlet air limbah dari waktu ke waktu.

4.4.1. Kualitas Output Bak Pengendapan

Proses pengendapan adalah proses pengolahan air limbah secara fisik dimana berfungsi untuk mengendapkan Total Suspended Solid (TSS) sekaligus kandungan Cr totalnya. Untuk dapat tercapainya pengendapan maka diperlukan waktu tinggalnya bagi air limbah berada di dalam bak pengendapan ini. Diambil waktu tinggal, $T_d = \pm 24$ jam.

Hasil pemeriksaan laboratorium kualitas air limbah setelah melalui bak pengendapan dapat dilihat pada Tabel 4.2.

Tabel 4.2. Hasil kualitas output air limbah setelah melalui bak pengendapan

No.	Parameter	Satuan	Inlet Bak Pengendap	Outlet Bak Pengendap	Baku Mutu Air Limbah (SK Gub Jatim no 45/2002)	Keterangan (Memenuhi/tidak memenuhi baku mutu)
1	Suhu	°C	25,2	25,1	Suhu udara ± 3	Memenuhi
2	TSS	mg/l	300	200	20	Belum memenuhi
3	DHL	µS/cm	33,5	33,7	1,25	Belum memenuhi
4	pH	-	1,4	1,86	6,5 – 8,5	Belum memenuhi
5	Cr Total	mg/l	288,82	33,62	0,5	Belum memenuhi

Sumber : Laboratorium Teknik Pengairan Universitas Brawijaya Malang, 2009

Dari tabel di atas nampak bahwa terjadi penurunan parameter TSS dari 300 mg/l menjadi 200 mg/l. Selain itu juga terjadi penurunan signifikan pada parameter Cr total dari 288,82 mg/l menjadi 33,62 mg/l. Sedangkan pada parameter pH mengalami peningkatan sangat sedikit yaitu dari 1,4 menjadi 1,86. Dari unit pengendapan ini, air limbah dialirkan menuju unit berikutnya yakni bak netralisasi.

4.4.2. Kualitas Output Bak Netralisasi

Fungsi dari bak netralisasi adalah untuk menetralkan air limbah yang mempunyai kondisi asam atau basa menjadi netral yaitu berkisar antara 6,5 sampai dengan 8,5. Untuk air limbah industri elektroplating ini adalah bersifat asam sehingga perlu dinetralkan dengan jalan menambah bahan yang bersifat alkali yakni serbuk kapur (CaCO_3). Dosis kapur (CaCO_3) 180 gram/0,018 m³ (0,018 m³ adalah volume air limbah dalam model bak netralisasi). Hasil pemeriksaan laboratorium kualitas air limbah setelah melalui bak netralisasi dapat dilihat pada Tabel 43.

Tabel 4.3. Hasil kualitas output air limbah setelah melalui bak netralisasi

No.	Parameter	Satuan	Inlet Bak Netralisasi	Output Bak Netralisasi	Baku Mutu Air Limbah (SK Gub Jatim no 45/2002)	Keterangan (Memenuhi/tidak memenuhi baku mutu)
1	Suhu	°C	25,1	25,3	Suhu udara ± 3	Memenuhi
2	TSS	mg/l	200	400	20	Tidak memenuhi
3	DHL	µS/cm	33,7	4,02	1,25	Tidak memenuhi
4	pH	-	1,86	6,52	6,5 – 8,5	Memenuhi
5	Cr Total	mg/l	33,62	33,62	0,5	Tidak memenuhi

Sumber : Laboratorium Teknik Pengairan Universitas Brawijaya Malang, 2009

Dari tabel di atas, kadar pH mengalami peningkatan dari 1,86 menjadi 6,52 yang berarti sudah netral. Namun sayangnya, TSS menunjukkan peningkatan dua kali lipat dari 200 mg/l menjadi 400 mg/l. Hal ini disebabkan karena adanya pengaruh dari serbuk kapur (CaCO_3). Selanjutnya bila memang akan diaplikasikan ada baiknya bila bak netralisasi ini mendahului proses bak pengendapan sehingga bak pengendapan dapat mengantisipasi kenaikan TSS yang terjadi akibat penambahan kapur.

4.4.3. Kualitas Output Bak Filtrasi

Dari unit bak pengendapan dan bak netralisasi, maka proses pengolahan air limbah akan dilanjutkan ke unit bak filtrasi. Bak filtrasi ini berfungsi sebagai penyaring lanjutan untuk partikel-partikel yang masih tertahan di dalam air limbah. Dalam penelitian ini media penyaring yang digunakan adalah arang aktif, zeolit, dan pasir silika. Letak zeolit dan arang aktif divariasikan, sedangkan letak pasir silika tetap berada di lapisan paling bawah, mengingat diameter ukuran yang cenderung lebih besar/kasar. Arang aktif diletakkan di bagian atas atau yang pertama mendapat aliran, dikarenakan arang aktif memiliki sifat pengotor yang dapat mempengaruhi warna air limbah. Apabila terjadi masih dapat dilakukan filtrasi pada media berikutnya yang terletak di bawahnya yakni pasir silika.

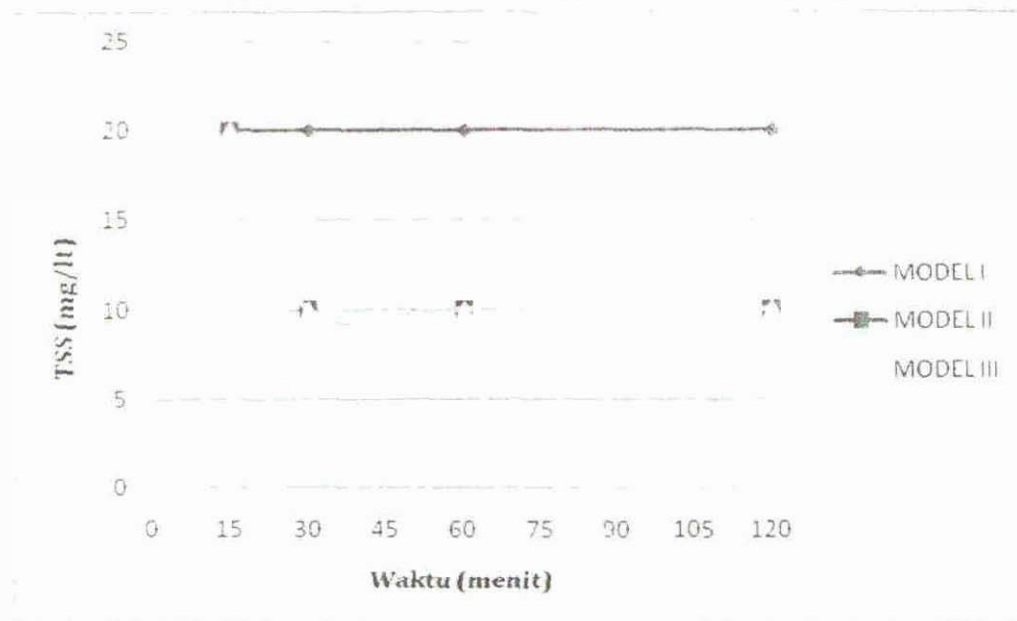
Pengambilan sampel dilakukan pada menit ke 15, 30, 60, 120 menit seperti yang telah dijelaskan pada sub bab sebelumnya. Hasil pemeriksaan laboratorium setelah difiltrasi untuk masing-masing model dapat dilihat pada Tabel 4.4 dibawah ini.

Tabel 4.4. Hasil kualitas output air limbah setelah melalui bak filtrasi

Parameter	TSS (mg/l)				DHL (μ S/cm)				Cr total (mg/l)				T (suhu)				pH			
	15	30	60	120	15	30	60	120	15	30	60	120	15	30	60	120	15	30	60	120
Model I	20	20	20	20	5,76	5,91	7,46	10,12	14,01	12,33	12,33	12,33	25,1	25,4	25,5	25,4	6,9	7,01	7,01	6,77
Model II	20	10	10	10	2,91	3,3	3,57	3,72	14,01	15,03	17,93	18,49	25,3	25,3	25,4	25,4	6,99	6,94	6,96	6,97
Model III	20	10	10	10	3,87	3,86	3,81	3,74	16,25	17,37	16,81	16,25	25,4	25,3	25,4	25,4	6,91	7,03	6,98	7,02

Sumber : Laboratorium Teknik Pengairan Universitas Brawijaya Malang, 2009

Dari hasil di atas akan digambarkan dalam grafik sehingga dapat diketahui nilai tiap-tiap parameter untuk setiap model bak filtrasi. Berikut **Gambar 4.3** menunjukkan kandungan TSS outlet bak filtrasi untuk tiga model dengan beberapa interval waktu pengambilan sampling.

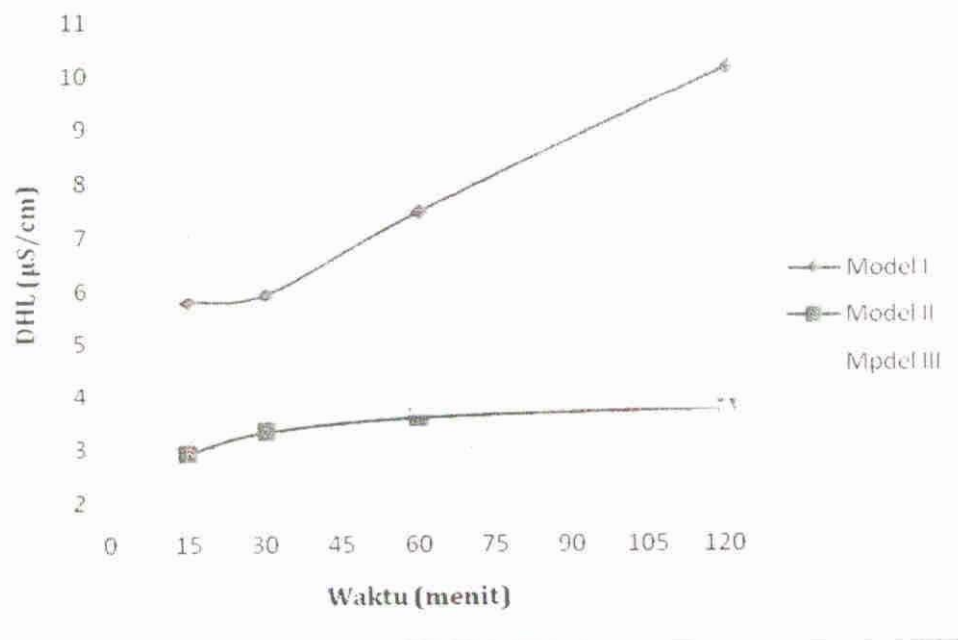


Gambar 4.3. Kandungan TSS Outlet Bak Filtrasi

DM Tabel 4.4 dan Gambar 4.3 dapat dijelaskan bahwa kandungan TSS model I yang menggunakan arang aktif dan pasir silika, cenderung sama pada setiap waktu sampling yakni 20 mg/l. Sedangkan pada model II (zeolit dan pasir silika) dan model III (arang aktif, zeolit, pasir silika) kandungan TSS menunjukkan penurunan TSS yang lebih tinggi hingga mencapai

10 mg/l. Kualitas output model II dan III untuk kandungan TSS telah memenuhi baku mutu yakni di bawah 20 mg/l.

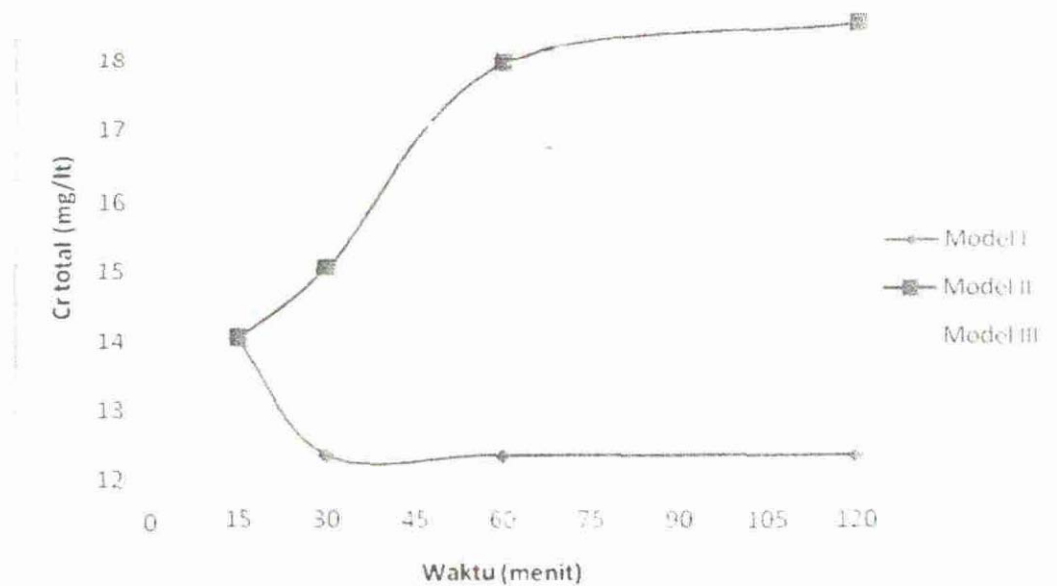
Untuk nilai Daya Hantar Listrik (DHL) outlet bak filtrasi untuk tiga model dengan beberapa interval waktu pengambilan sampling ditunjukkan pada **Gambar 4.4** berikut ini.



Gambar 4.4. Daya Hantar Listrik (DHL) Outlet Bak Filtrasi

Dari Tabel 4.4 dan Gambar 4.4 untuk nilai Daya Hantar Listrik (DHL) untuk model I (arang aktif dan pasir silika) mengalami peningkatan hingga mencapai angka 10,12 $\mu\text{S}/\text{cm}$. Pada model II (zeolit dan pasir silika) DHL juga mengalami peningkatan tetapi tidak sebesar pada model I yaitu sebesar 3,72 $\mu\text{S}/\text{cm}$. Sedangkan pada model III (zeolit, arang aktif dan pasir silika) DHL mengalami penurunan yaitu 3,74 $\mu\text{S}/\text{cm}$. Walaupun nilai DHL model III lebih baik dibandingkan kedua model lainnya namun masih belum memenuhi baku mutu (1,25 $\mu\text{S}/\text{cm}$).

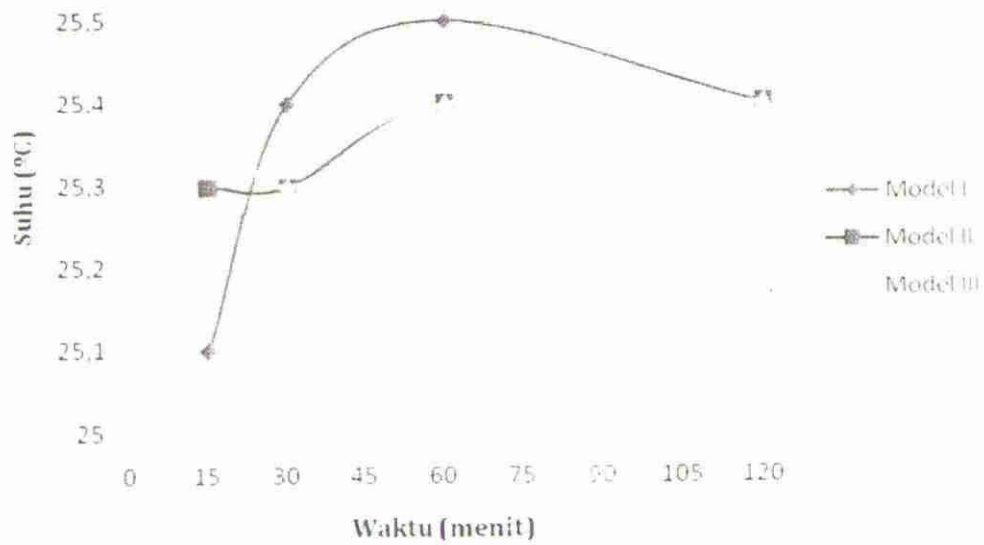
Selanjutnya Gambar 4.5 menunjukkan kandungan Cr total outlet bak filtrasi untuk tiga model dengan beberapa interval waktu pengambilan sampling.



Gambar 4.5. Kandungan Cr total Outlet Bak Filtrasi

Dari Tabel 4.4 dan Gambar 4.5 dapat dijelaskan bahwa kandungan Cr total model I (arang aktif dan pasir silika) lebih baik dari model PI (zeolit dan pasir silika) dan model III (zeolit, arang aktif dan pasir silika). Kondisi model II mengalami kenaikan, hal ini ditengarai karena kondisi saat percobaan dimana media penyaring mengalami beberapa penyumbatan sehingga hasil tidak maksimal. Ketiga model untuk penurunan kandungan Cr total belum dapat memenuhi baku mutu yang berlaku sebesar 0,5 mg/l.

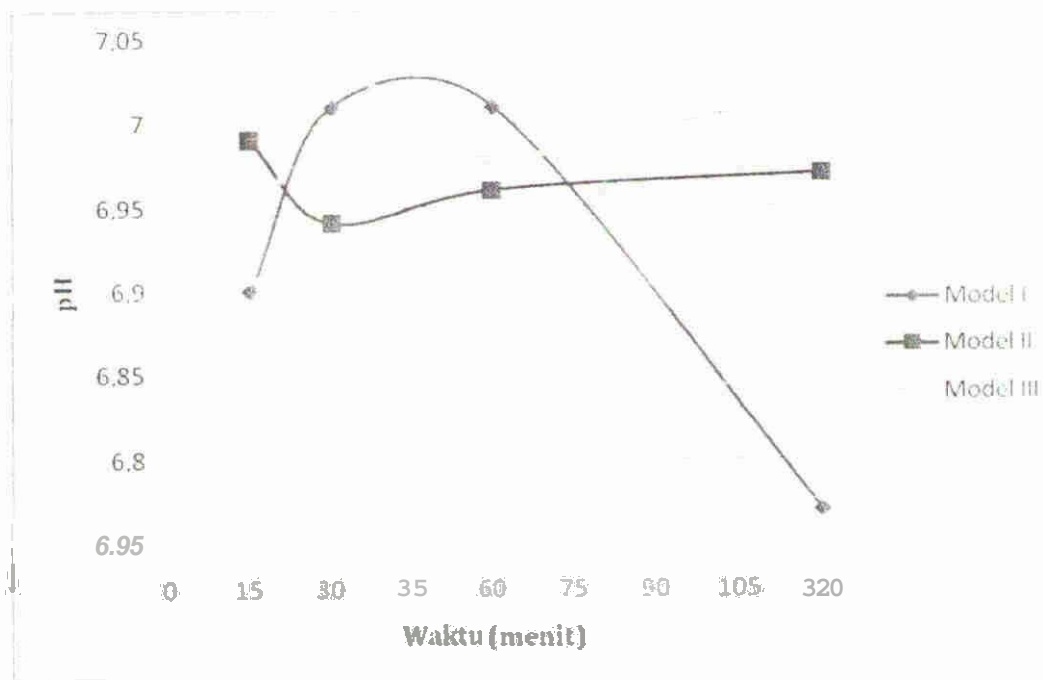
Selanjutnya untuk parameter suhu outlet bak filtrasi ditunjukkan Gambar 4.6 untuk tiga model dengan beberapa interval waktu pengambilan sampling.



Gambar 4.6. Suhu Outlet Bak Filtrasi

Dari Tabel 4.4 dan Gambar 4.6 ketiga model bak filtrasi menunjukkan parameter suhu air limbah relatif stabil berkisar 25°C .

Selanjutnya untuk pH outlet bak filtrasi dari ketiga model ditunjukkan Gambar 47



Gambar 4.7. pH Outlet Bak Filtrasi

Ketiga model bak filtrasi tidak berpengaruh signifikan terhadap derajat keasaman (pH) air limbah, karena pH ini telah dinetralkan pada unit pengolah sebelumnya yakni bak netralisasi.

Dari uraian di atas dapat dilihat bahwa dari ketiga model bak filtrasi yang digunakan, model III (zeolit-arang aktif-pasir silika) yang dapat diaplikasikan untuk memenuhi baku mutu yang telah ditetapkan agar aman dibuang ke lingkungan. Untuk parameter Cr total dan DHL memang belum memenuhi baku mutu, namun penurunan yang terjadi sudah cukup signifikan. Kiranya perlu penambahan pengolahan lanjutan seperti misalnya bak fitoremediasi yang memanfaatkan tanaman air untuk mengabsorpsi Cr. Efisiensi bak fitoremediasi dapat diteliti lebih lanjut dalam penelitian selanjutnya. Selain itu, khusus kandungan TSS, unit pengolahan direkomendasikan diubah urutannya dimana bak netralisasi lebih dulu dibandingkan bak pengendapan, sehingga tidak terjadi kenaikan TSS akibat bahan penetral. Jadi instalasi pengolahan yang dapat direkomendasikan adalah berturut-turut : **bak netralisasi - bak pengendapan - bak filtrasi model III dengan media penyaring zeolit-arang aktif-pasir silika - bak fitoremediasi.**

4.5. Efisiensi Penurunan Kandungan Parameter-Parameter Air Limbah

Perhitungan efisiensi penurunan kandungan parameter parameter air limbah pada percobaan model IPAL untuk air limbah elektroplating ini dapat dilihat dari nilai inlet sebelum masuk IPAL dan outlet akhir PAL. Berikut akan ditabelkan rangkuman kandungan inlet dan outlet untuk tiap parameter.

Tabel 4.5. Rangkuman kualitas inlet dan outlet air limbah elektroplating percobaan model IPAL

Parameter	Satuan	Inlet	Outlet	Baku Mutu Air Limbah (SK Gub Jatim no 45/2002)	Keterangan (Memenuhi/tidak memenuhi baku mutu)
Suhu	°C	25,2	25,0	Suhu udara ± 3	Memenuhi
TSS	mg/l	300	10	20	Memenuhi
DHL	µS/cm	33,5	3,74	1,25	Belum memenuhi
pH	-	1,4	7,02	6,5 – 8,5	Memenuhi
Cr Total	mg/l	288,82	16,25	0,5	Belum memenuhi

Adapun rumusan efisiensi penurunan parameter-parameter air limbah adalah sebagai berikut:

$$\eta_{\text{parameter}} = \frac{\text{Parameter}_{\text{inlet}} - \text{Parameter}_{\text{outlet}}}{\text{Parameter}_{\text{inlet}}} \cdot 100\%$$

Parameter-parameter yang akan dievaluasi efisiensinya adalah TSS, DHL, dan Cr total. Di bawah ini adalah contoh perhitungan efisiensi penurunan kandungan TSS air limbah

$$\text{Parameter}_{\text{inlet}} \text{ TSS} = 300 \text{ mg/l}$$

$$\text{Parameter}_{\text{outlet}} \text{ TSS} = 10 \text{ mg/l}$$

$$\begin{aligned} \eta_{\text{parameter}} &= \frac{\text{Parameter}_{\text{inlet}} - \text{Parameter}_{\text{outlet}}}{\text{Parameter}_{\text{inlet}}} \cdot 100\% \\ &= (300-10)/300 \times 100\% \\ &= 96,67\% \end{aligned}$$

Jadi nilai efisiensi penurunan kandungan TSS adalah 96,67 %. Hasil selanjutnya akan ditabelkan sebagai berikut :

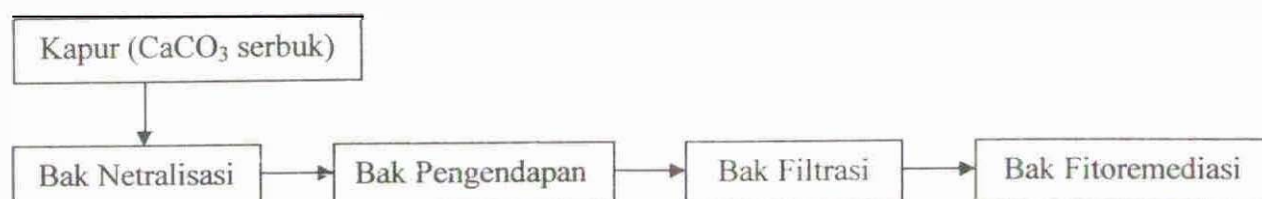
Tabel 4.6 Efisiensi penurunan kandungan TSS, DHL dan Cr total

Parameter	Satuan	Inlet	Outlet	Efisiensi
TSS	mg/l	300	10	96,67 %
DHL	μS/cm	33,5	3,74	88,84 %
Cr Total	mg/l	288,82	16,25	94,37%

Dari tabel di atas dapat terlihat bahwa efisiensi penurunan kandungan parameter-parameter air limbah cukup signifikan (>85%). Namun hasilnya ternyata belum memenuhi baku mutu, sehingga perlu ditambahkan unit pengolah lanjutan dimana disarankan penggunaan bak fitoremediasi.

4.6. Perencanaan Instalasi Pengolahan Air Limbah

Berdasarkan analisis di atas maka perencanaan IPAL industri electroplating adalah sebagai berikut:



4.6.1. Bak Netralisasi

Direncanakan dimensi bak netralisasi adalah sebagai berikut :

- P = 0,5 m
- L = 0,5 m
- H = 0,5 m
- Q = 0,000035 m³/det = 0,0021 m³/menit = 0,126 m³/jam
- Kriteria desain waktu tinggal (Td) untuk bak netralisasi adalah ≥ 15 menit = 0,25 jam.

Sehingga :

$$\begin{aligned}V &= P \times L \times H \\ &= 0,5 \times 0,5 \times 0,5 \\ &= 0,125 \text{ m}^3\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}T_d &= \frac{V}{Q} \\ &= \frac{0,125}{0,0021} \\ &= 59,523 \text{ menit}\end{aligned}$$

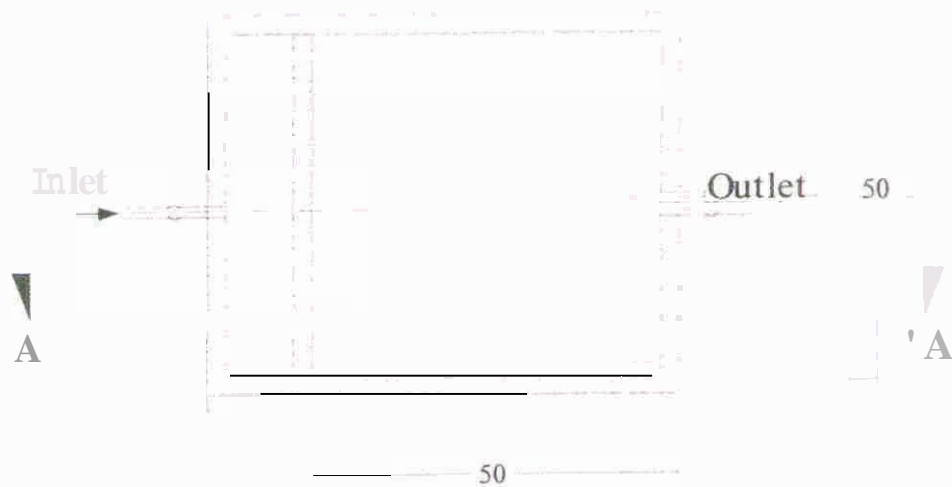
Waktu tinggal dianggap ideal yaitu 59,523 menit karena lebih dari waktu yang disyaratkan.

$$T_d \geq T_{d\text{kriteria desain}}$$

$$59,523 \text{ menit} \geq 15 \text{ menit (memenuhi syarat)}$$

Jadi ukuran bak netralisasi di atas dapat digunakan yakni 0,5 x 0,5 x 0,5 meter (P x L x H).

Adapun gambar bak netralisasi adalah sebagai berikut :



Gambar 4.8. Bak Netralisasi



Gambar 4.9. Potongan A-A Bak Netralisasi

462 Bak Pengendapan

Unit selanjutnya adalah bak pengendapan dengan kriteria desain sebagai berikut :

- a. Debit limbah cair yang masuk (Q) = $3 \text{ m}^3/\text{hari} = 0,000035 \text{ m}^3/\text{det}$
- b. Diameter butiran (D) = $0,067 \text{ mm} = 0,000067 \text{ m}$
- c. Berat jenis butiran (ρ_s) = $2,54 \text{ g/ml}$
- g. Kekentalan kinematik air pada suhu 30°C (ν) = $8,06 \times 10^{-7}$

h. Faktor gesekan Darcy-Weisbach (f) = 0,025

i. Gaya gravitasi (g) = 9,81 m/det²

j. Waktu tinggal (Td) yang ideal untuk bak pengendap yaitu 5 jam.

Direncanakan ukuran bak pengendapan :

• P = 1 m

• L = 0,5 m

• H = 0,5 m

Sehingga :

$$V = P \times L \times H$$

$$= 1 \times 0,5 \times 0,5$$

$$= 0,25 \text{ m}^3$$

4.6.2.1 Perhitungan Kapasitas Bak Pengendap :

a. Besarnya kecepatan rata-rata mengendap partikel ke arah bawah adalah :

$$v_s = \frac{\rho_s - \rho_f}{18\nu} \cdot g \cdot D^2$$

$$v_s = \frac{2,54 - 1}{18(8,06 \times 10^{-7})} \cdot 9,81 \cdot 0,000067^2$$

$$v_s = 0,00467 \text{ m/det}$$

b. Kecepatan maksimum yang diijinkan

$$v_m = v_s \left(\frac{8}{f} \right)^{0,5}$$

$$v_m = 0,00467 \left(\frac{8}{0,025} \right)^{0,5}$$

$$v_m = 0,08353$$

c. Besarnya kecepatan aliran horisontal

$$v_d = \frac{Q}{P \cdot H}$$

$$v_d = \frac{0,000035}{1 \times 0,5}$$

$$v_d = 0,00007 \text{ m/det} \quad (v_d < v_s < v_m)$$

Kontrol :

Agar partikel mendapat kesempatan mengendap pada daerah pengendapan maka harus memenuhi syarat :

$$P.L > \frac{Q}{vs}$$

$$1.0,5 > \frac{0,000035}{0,00467}$$

$$0,5 > 0,0075 \text{ (ok ! memenuhi syarat)}$$

4.6.2.2 Analisa Kondisi Aliran

Untuk memenuhi syarat aman terhadap bahaya resuspensi pada dasar bak short circuiting (kecepatan horisontal yang tidak tetap, yang berarti seluruh partikel memiliki waktu tendensi yang tidak sama) maka dimensi bangunan harus memenuhi syarat bilangan Reynold (Re) < 2000 dan bilangan Froude < 1.

a. Besarnya bilangan Froude :

$$Fr = \frac{v}{(gh)^{0,5}}$$

$$Fr = \frac{0,000175}{(9,81.1)^{0,5}}$$

$$Fr = 0,00006 < 1 \text{ (aliran sub kritis)}$$

b. Perhitungan bilangan Reynold (Re)

$$R = \frac{A}{P}$$

$$R = \frac{1 \times 0,5}{1 + (1 \times 0,5)}$$

$$R = 0,333$$

$$Re = \frac{vR}{\nu}$$

$$Re = \frac{0,000175 \times 0,333}{8,06 \times 10^{-7}}$$

$$Re = 72,3$$

Karena $Re < 2000$ maka aliran termasuk laminar sehingga dapat terjadi proses pengendapan.

4.6.2.3 Menghitung waktu tinggal limbah cair

Volume bak pengendap adalah

$$V = P \times L \times H$$

$$V = 1 \times 0,5 \times 0,5$$

$$V = 0,25 \text{ m}^3$$

Jadi waktu tinggal (T_d):

$$Q = 0,000035 \text{ m}^3/\text{det} = 0,0021 \text{ m}^3/\text{menit} = 0,126 \text{ m}^3/\text{jam}$$

$$\begin{aligned} T_d &= \frac{V}{Q} \\ &= \frac{0,25}{0,126} \end{aligned}$$

$$= 1,984 \text{ jam} \leq 5 \text{ jam}$$

Waktu tinggal belum memenuhi syarat sehingga perlu desain ulang.

Direncanakan $P = 1,5 \text{ m}$, $L = 1 \text{ m}$, $H = 0,45 \text{ m}$

$$V = P \times L \times H$$

$$V = 1,5 \times 1 \times 0,45$$

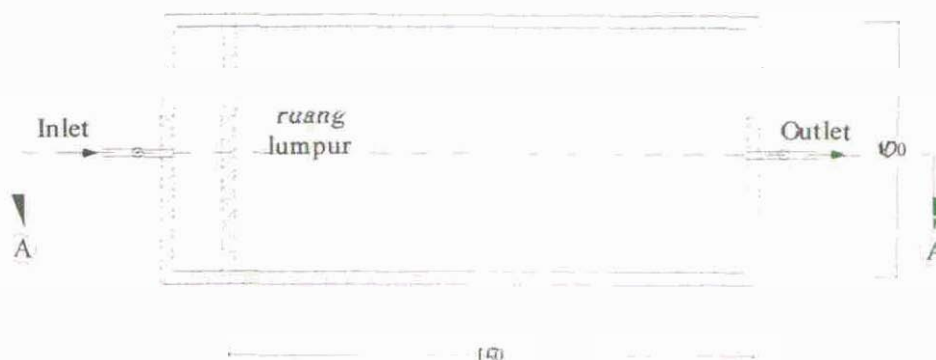
$$V = 0,675 \text{ m}^3$$

$$T_d = \frac{V}{Q}$$

$$= \frac{0,675}{0,126}$$

$$= 5,35 \text{ jam} \geq 5 \text{ jam (ok ! memenuhi syarat)}$$

Jadi ukuran bak pengendapan adalah $1,5 \times 1 \times 0,45$ meter ($P \times L \times H$). Adapun gambarnya :



Gambar 4.10. Bak Pengendap



Gambar 4.11. Potongan A-A Bak Pengendap

4.63. Bak Filtrasi

Direncanakan dimensi bak filtrasi :

- P = 0,5 m
- L = 0,5 m
- Q = 0,000035 m³/det = 0,0021 m³/menit = 0,126 m³/jam

$$\begin{aligned}
 A &= P \times L \\
 &= 0,5 \times 0,5 \\
 &= 0,25 \text{ m}^3
 \end{aligned}$$

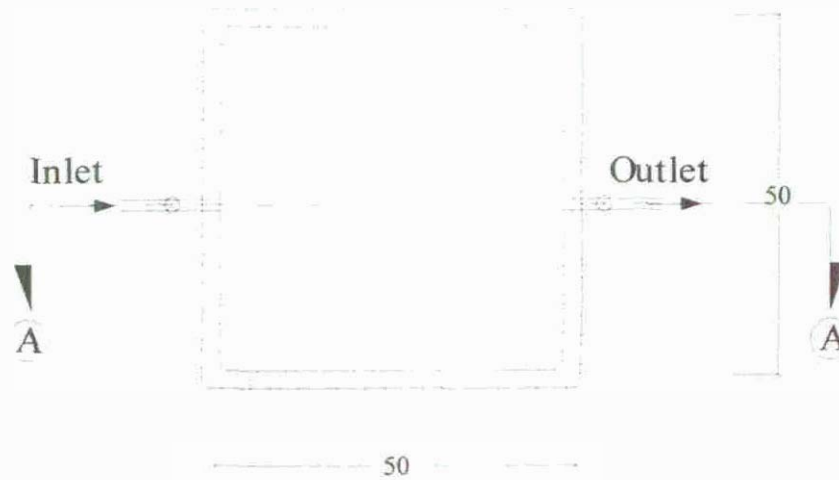
Kedalaman bak filtrasi dapat dihitung berdasarkan persyaratan dengan mempertimbangkan kesesuaian antara kedalaman bak dengan kondisi lahan yang tersedia.

Hasil perhitungan dapat dibaca pada Tabel 4.7 berikut.

Tabel 4.7. Perhitungan kedalaman bak filtrasi

No.	Kedalaman	Ukuran (m)
1.	Tinggi bebas	0,10
2.	Tinggi air di atas media	0,10
3.	Tebal pasir silika	0,30
4.	Tebal arang aktif	0,20
5.	Tebal zeolit	0,20
	Jumlah	0,9

Jadi ukuran bak filtrasinya adalah 0,5 x 0,5 x 0,9 meter (P x L x H)



Gambar 4.12. Bak Filtrasi

4.6.4. Bak Fitoremediasi

Dari hasil analisis di sub bab sebelumnya, kualitas air limbah industri electroplating ini setelah melalui bak filtrasi ternyata belum memenuhi baku mutu sehingga pengolahan akan ditambah dengan proses fitoremediasi yang diharapkan bisa memenuhi baku mutu tersebut.

Bak fitoremediasi terisi tanaman-tanaman dengan sisi-sisi pasangan batu. Untuk itu direncanakan dimensi bak fitoremediasi 0,5 x 0,5 x 1 m (P x L x H). Dalam proses fitoremediasi dibutuhkan beberapa ketentuan untuk membuat sistem ini yaitu :

1. Pemilihan Jenis Tanaman

Hal yang patut dipertimbangkan dalam pemilihan tanaman adalah tanaman yang toleran terhadap air limbah dimana mampu mengolah air limbah. Untuk mengetahui tingkat toleransi tanaman terhadap air limbah maka perlu diketahui konsentrasi nutrisi dalam air limbah. Kemampuan tanaman dalam mengolah air limbah meliputi kapasitas filtrasi dan efisiensi serapan nutrisi (Shutes et al., 1993 dalam Priyanto dkk). Tanaman timbul dan tanaman mengapung lebih banyak dipilih untuk digunakan dalam studi lahan basah. Jenis tanaman timbul antara lain *phalaris*, *spartina*, *carex*, dan *juncus* memiliki potensi produksi dan daya serap hara yang tinggi, penyebarannya luas, dan toleran terhadap berbagai macam kondisi lingkungan. Spesies tanaman mengapung digunakan karena tingkat pertumbuhannya sangat tinggi, dan kemampuannya untuk menyerap hara langsung dari kolam air (Reddy dan de Rusk, 1985 dalam Priyanto dkk). Akarnya

menjadi tempat **filtrasi dan absorpsi padatan** tersuspensi dan pertumbuhan **mikroba** yang menghilangkan unsur-unsur **hara** dari kolam air.

2. Konsep Dasar

Desain sistem lahan basah buatan umumnya terdiri dari satu atau beberapa unit yang disebut dengan sel. Ukuran masing-masing sel dalam satu sistem adalah seragam, namun bervariasi antar satu sistem dengan sistem yang lain. Jumlah sel dalam satu unit pengolahan air limbah bervariasi, tergantung dari jenis atau asal air limbah. Untuk air limbah pengekroman menggunakan 3-5 sel yang disusun seri dan limbah dialirkan ke tiap sel pada permukaan secara gravitasi. Sel yang harus disediakan terlebih dahulu adalah areal pengendapan limbah yang berupa bak/kolam. Pada sel kedua, konstruksinya berupa kolam dengan pasangan batu kedap air dengan kedalaman sekitar 1 meter. Kolam ini dilengkapi dengan pipa inlet dan outlet. Di dalamnya diisi media koral (batu pecah atau kerikil) dengan diameter 5 mm-10 mm setebal 80 cm. Di lahan basah itu kemudian ditanami tumbuhan air dicampur beberapa jenis yang berjarak cukup rapat, dengan melubangi lapisan media koral sedalam 40 cm untuk dudukan tumbuhan. Air limbah diatur kedalamannya/levelnya. Tinggi permukaan air limbah yang dianjurkan 70 cm dari dasar kolam. Dengan demikian posisi air limbah selalu 10 cm di bawah permukaan koral. Kemudian pada sel yang terakhir yaitu sel pembuangan di isi dengan pasir, air dialirkan ke sungai dengan menggunakan pipa.

Secara umum, sistem lahan basah multi sel untuk pengolahan air limbah memungkinkan operasi lebih fleksibel, dan dapat dibuat menurut topografi lahan.

3. Tipe aliran dan ketinggian aliran

Sistem lahan basah bisa menggunakan aliran-aliran air dalam (*submerged flow*) ataupun aliran air permukaan (*surface flow*). Sistem aliran air dalam biasanya mengandung substrat berpori, karena sistem ini didesain dan dioperasikan untuk menghindari air diam (*standing water*). Shutes et al, 1993 dalam Priyanto dkk menganjurkan agar efluen dialirkan ke sistem secara aliran air dalam (*submerged flow*) agar terjadi kontak yang maksimal antara air limbah dengan substrat dan akar/rizoma tanaman, sehingga didapat hasil pengolahan air limbah yang maksimal.

Steiner et al, 1993 dalam Priyanto dkk, merekomendasikan ketinggian air sekitar 30 cm. Kolam yang dangkal dipercaya memiliki aerasi air limbah yang lebih baik daripada kolam yang dalam. Selain itu akar akan lebih banyak substrat

dimana oksigen tersedia **lebih banyak**. Pengontrolan ketinggian air **juga** diperlukan untuk menumbuhkan tanaman dan menghindari air diam.

4. Substrat

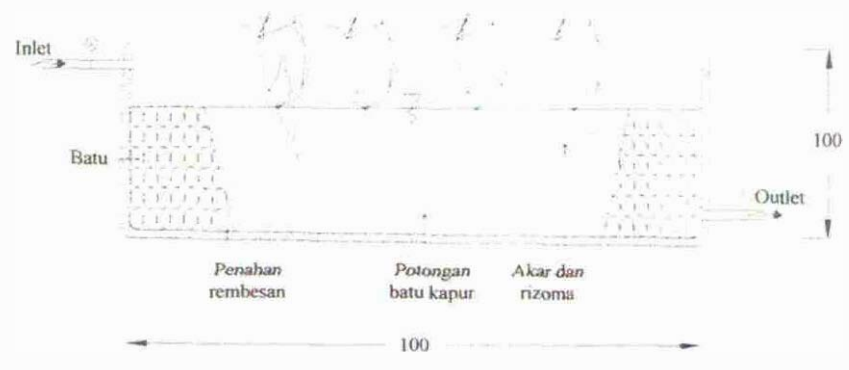
Substrat yang umum digunakan adalah **kerikil** bersih dengan **ukuran tertentu**. Batuan **sungai berbentuk** bulat lebih disukai karena menghindari substrat **mengeras**. Pasir atau campuran kerikil merupakan alternatif yang baik. Diameter kerikil yang **digunakan** berkisar antara 0,5-1,0 **cm**, bahkan **ada yang menggunakan ukuran 5,0 cm**, tetapi ukuran kerikil yang kecil diyakini lebih mendukung pertumbuhan tanaman.

Sel terakhir dari sistem pengolahan air limbah lahan basah buatan **biasanya** berisi filter **pasir**. Selain kerikil **dan pasir**, bisa **juga** digunakan substrat yang mengandung tanah **lempung dan lumpur** (Martin et al., 1993 dalam Priyanto dkk). Hasil penelitian Surface et al., 1993 dalam Priyanto dkk menunjukkan bahwa sel yang berisi media campuran pasir dan kerikil (diameter pasir 0,05 **cm** dan diameter kerikil 0,5-1,0 **cm**) paling efektif menurunkan BOD dan NH_4^+ hingga **70%**. Substrat yang digunakan sebaiknya dicuci lebih dahulu untuk menghindari partikel halus yang dapat menyumbat ruang pori.

Head aliran ~ . &&matidibuat sejajar dengan permukaan air untuk mengontrol ketinggian air, memudahkan penanaman, dan menghindari air diam. Ukuran pori diantara substrat hendaknya cukup besar untuk dilewati aliran air secara fisik. Muatan bahan organik secara berlebihan dapat menyebabkan penyumbatan substrat, karena terbentuk lapisan lendir anaerobik. Steiner et al, 1993 dalam Priyanti dkk, menyarankan agar menggunakan loading organik sebesar $4 \text{ m}^2/\text{kg}/\text{hari}$. Pada sistem lahan basah yang tidak menginginkan perkolasi air, permukaan dasar sistem bisa terdiri dari tanah lempung padat (*compacted clay*). Sistem ini menjaga agar ketinggian permukaan air tetap pada level yang diinginkan (Martin et al., 1993 dalam Priyanto dkk).



Gambar 4.13. Bak Fitoremediasi



Gambar 4.14. Potongan A-A Bak Fitoremediasi

BAB V

PENUTUP

5.1. Kesimpulan

Penelitian ini dapat disimpulkan sebagai berikut :

1. Kualitas air limbah industri elektroplating masih belum memenuhi standar baku mutu air limbah Keputusan Gubernur Jawa Tengah No. 45 tahun 2002 terutama untuk parameter TSS, DHL, pH dan Cr total.
2. Instalasi pengolahan air limbah industri elektroplating terdiri dari unit-unit : bak netralisasi, bak pengendap, bak filtrasi dengan media penyaring zeolit-arang aktif-pasir silika dan unit tambahan bak fitoremediasi.
3. Kualitas outlet pengolahan air limbah sudah memenuhi baku mutu untuk parameter suhu, TSS dan pH, sedangkan DHL dan Cr total belum memenuhi baku mutu, sehingga ditambahkan unit pengolahan bak fitoremediasi. Efisiensi penurunan kandungan parameter-parameter dalam air limbah untuk TSS 96,67% ; DHL 88,84% ; Cr total 94,37%.

5.2. Saran

Beberapa saran yang dapat diberikan adalah :

1. Perlu diteliti kandungan parameter-parameter air limbah lainnya seperti tembaga (Cu), sianida (CN), seng (Zn), nikel (Ni) dan lain-lain.
2. Dalam percobaan model perlu dibuat kombinasi pengolahan yang cukup bervariasi, sehingga diperoleh hasil yang optimal.

DAFTAR PUSTAKA

- Departemen Pemukiman dan Prasarana Wilayah. 2003. *Fitoremediasi Upaya Mengolah Air Limbah dengan Media Tanaman*, Jakarta.
- Priyanto, B. dkk *Fitoremediasi sebagai Sebuah Teknologi Pemulihan Pencemaran, Khususnya Logam Berat*.
- Sellers Kathleen, 1998. *Fundamentals of Hazardous Waste Site Remediation*. Washington D.C. :LEWIS PUBLISHERS .
- Anonim. 2007. *Pengolahan air Limbah*. <http://www.bsl-online.com>.
- Roosita H. 2007. *Industri Elektroplating. Panduan Penyusunan dan Pemeriksaan Dokumen UKL-UPL*.
- Devia, Y.P. 2008. *Buku Ajar Teknik Lingkungan*, Malang.
- Reynold Tom D. 1982. *Unit Operations And Processes In Environmental Engineering*. Brooks/Cole Engineering Division Monterey California.
- Noerbambang S. M. dan Morimura T. 1988. *Perancangan Dan Pemeliharaan Sistem Plambing*, Jakarta
- Sugiharto. 1987. *Dasar-Dasar Pengelolaan Air Limbah*. Penerbit Universitas Indonesia, Jakarta.
- Chow, Ven Te. 1997. *Hidrolika Saluran Terbuka*, terjemahan Nensi Rosalina, Jakarta.
- Metcalf and Eddy. 1979. *Wastewater Engineering; Collection, Treatment, Disposal*. McGraw Hill Inc. New delhi.
- Linsley,R.K. Franzini, J.B. Sasongko, D. 1986. *Teknik sumber Daya Air Jilid 2*. Jakarta.