



REPUBLIK INDONESIA  
KEMENTERIAN HUKUM DAN HAK ASASI MANUSIA

# SURAT PENCATATAN CIPTAAN

Dalam rangka perlindungan ciptaan di bidang ilmu pengetahuan, seni dan sastra berdasarkan Undang-Undang Nomor 28 Tahun 2014 tentang Hak Cipta, dengan ini menerangkan:

Nomor dan tanggal permohonan : EC00201952577, 28 Agustus 2019

## Pencipta

Nama : **Dr. Aji Prasetyaningrum, ST, M.Si, Dr. Mohammad Djaeni, S.T., M.T., , dkk**

Alamat : Jl. Bukit Umbul Barat 1. No. 2 Sumurboto, Banyumanik , Semarang, Jawa Tengah, 50269

Kewarganegaraan : Indonesia

## Pemegang Hak Cipta

Nama : **UNIVERSITAS DIPONEGORO**

Alamat : Jl. Prof. Soedarto, SH Tembalang, Semarang, Jawa Tengah, 50275

Kewarganegaraan : Indonesia

Jenis Ciptaan : **Buku**

Judul Ciptaan : **Teknologi Eco Electroplating Yang Efisien Dan Ramah Lingkungan : Peningkatan Kualitas Dan Kapasitas Produksi Industri Pelapisan Logam Di Juwana Kabupaten Pati**

Tanggal dan tempat diumumkan untuk pertama kali di wilayah Indonesia atau di luar wilayah Indonesia : 1 Mei 2019, di Semarang

Jangka waktu perlindungan : Berlaku selama 50 (lima puluh) tahun sejak Ciptaan tersebut pertama kali dilakukan Pengumuman.

Nomor pencatatan : 000152099

adalah benar berdasarkan keterangan yang diberikan oleh Pemohon.

Surat Pencatatan Hak Cipta atau produk Hak terkait ini sesuai dengan Pasal 72 Undang-Undang Nomor 28 Tahun 2014 tentang Hak Cipta.

a.n. MENTERI HUKUM DAN HAK ASASI MANUSIA  
DIREKTUR JENDERAL KEKAYAAN INTELEKTUAL



Dr. Freddy Harris, S.H., LL.M., ACCS.  
NIP. 196611181994031001

## LAMPIRAN PENCIPTA

No	Nama	Alamat
1	Dr. Aji Prasetyaningrum, ST, M.Si	Jl. Bukit Umbul Barat 1. No. 2 Sumurboto, Banyumanik
2	Dr. Mohammad Djaeni, S.T., M.T.	Jl. Bukit Kenanga II, Sendangmulyo, Tembalang
3	Yudhy Dharmawan, SKM, M.Kes	Jl. Borobudur Utara XXI. No.19, Manyaran, Semarang Barat
4	Gian Restu Prinanda, S.Si	Jl. Bukit Tunggal C 1C. No. 4, Ngaliyan





# TEKNOLOGI *ECO ELECTROPLATING* YANG EFISIEN DAN RAMAH LINGKUNGAN

Peningkatan Kualitas dan Kapasitas Produksi  
Industri Pelapisan Logam di Juwana Kabupaten Pati



AJI PRASETYANINGRUM  
M DJAENI  
YUDHY DHARMAWAN  
GIAN RESTU PRINANDA

FKM Undip  
Press

FKM UNDIP Press  
UNIVERSITAS DIPONEGORO SEMARANG  
ISBN : 978-602-5788-26-0

# **TEKNOLOGI *ECO ELECTROPLATING* YANG EFISIEN DAN RAMAH LINGKUNGAN**

## **Peningkatan Kualitas dan Kapasitas Produksi Industri Pelapisan Logam di Juwana Kabupaten Pati**

### **Penyusun**

**AJI PRASETYANINGRUM  
MOHAMMAD DJAENI  
YUDHY DHARMAWAN  
GIAN RESTU PRINANDA**

### **Editor**

**AJI PRASETYANINGRUM**

### **Didukung Oleh**

**Direktorat Riset dan Pengabdian Masyarakat  
Kementerian Riset, Teknologi, dan Pendidikan Tinggi Republik Indonesia  
Lembaga Penelitian dan Pengabdian Masyarakat  
Universitas Diponegoro**



**FKM UNDIP Press  
Universitas Diponegoro Semarang  
Jl. Prof. Soedarto, SH, Tembalang , Semarang**

# **PENINGKATAN KUALITAS DAN KAPASITAS PRODUKSI INDUSTRI PELAPISAN LOGAM DI JUWANA KABUPATEN PATI**

© 2019 FKM UNDIP Press

ISBN : 978-602-5788-26-0

**Disusun oleh :**

AJI PRASETYANINGRUM

MUHAMMAD DJAENI

YUDHY DHARMAWAN

GIAN RESTU PRINANDA

**Editor** : Aji Prasetyaningrum

**Desain Cover** : Gian Restu Prinanda

**Diterbitkan oleh :**

FKM UNDIP Press

Universitas Diponegoro Semarang

Jl. Prof. Soedarto, SH, Tembalang , Semarang

**Cetakan 1 : - 2019**

**Hak Cipta dilindungi Undang Undang**

Dilarang memperbanyak karya tulis ini dalam bentuk dan dengan cara apapun, termasuk fotokopi, tanpa izin tertulis dari Penerbit.

## PRAKATA

Puji syukur kami panjatkan ke hadirat TUHAN YANG MAHA KUASA yang telah melimpahkan Kasih dan AnugerahNya sehingga kami dapat menyusun Buku Teks Teknologi *Eco Electroplating*: Peningkatan Kualitas Dan Kapasitas Produksi Industri Pelapisan Logam Di Juwana Kabupaten Pati

Buku ini merupakan salah satu luaran dari Program PPPUD RISTEK DIKTI 2019 dengan judul peningkatan kualitas dan kapasitas produksi industri pelapisan logam di Juwana kabupaten Pati : melalui teknologi *eco electroplating* yang efisien dan ramah lingkungan. Kegiatan ini dilakukan di UKM Saestu Makaryo dan UKM Sinar Padi, Kecamatan Juana, Kabupaten Pati Jawa Tengah. Buku ini diharapkan bisa menjadi acuan pedoman bagi UKM, khususnya UKM Kuningan dalam mengaplikasikan teknologi bersih (*green technology*) untuk industri pengolahan logam.

Penyusun mengucapkan terimakasih kepada Dirlitabmas Kemenristikdikti yang telah mendanai kegiatan pengabdian kepada masyarakat melalui program PPPUD RISTEK DIKTI dan LPPM UNDIP yang telah memberi dukungan atas penyelesaian buku ini.

Penyusun menyadari bahwa masih banyak kekurangan dalam penyusunan buku ini. Oleh karena itu saran, masukan dan koreksi demi penyempurnaan buku ini sangat diharapkan.

Penyusun

## DAFTAR ISI

PRAKATA .....	iii
DAFTAR ISI .....	iv
DAFTAR GAMBAR .....	v
DAFTAR GAMBAR .....	vi
RINGKASAN .....	vii
BAB I. Teknologi Pengolahan Limbah.....	1
1.1. Pengertian Teknologi Industri Bersih .....	1
1.2. Dasar Hukum Pengolahan Limbah Industri .....	4
BAB II. Teknologi Bersih pada Industri Elektroplating .....	8
2.1. Pengertian Elektroplating .....	8
2.2. Prinsip Kerja Elektroplating .....	10
2.3. Uji Kualitas Hasil Lapisan Elektroplating .....	12
2.4. Proses Pelapisan berbasis Eco-Elektroplating .....	13
BAB III. Tujuan dan Manfaat Teknologi Eco-Elektroplating .....	19
3.4. Tujuan Penerapan Teknologi Bersih .....	19
3.5. Manfaat Penerapan Teknologi Bersih .....	20
BAB IV. Introduksi Teknologi pada Unit Eco-Elektroplating .....	21
4.1. Rancang Bangun Mesin <i>Barrel</i> Elektroplating .....	21
4.2. Optimalisasi Proses Industri .....	25
4.3. Pengolahan Limbah Cair .....	27
4.4. Perancangan Peralatan Elektrokoagulasi.....	39
BAB V. Kesimpulan dan Saran .....	42
5.2. Kesimpulan .....	42
5.3. Saran .....	42
DAFTAR PUSTAKA .....	43
LAMPIRAN .....	47

## DAFTAR GAMBAR

Gambar 1.1.	Diagram hirarki pengelolaan lingkungan .....	3
Gambar 2.1.	Limbah elektroplating .....	9
Gambar 2.2.	Skema pelaksanaan lapis listrik .....	11
Gambar 2.3.	Diagram proses elektrolisis .....	13
Gambar 2.4.	Aplikasi <i>degreasing</i> .....	15
Gambar 2.5.	Aplikasi <i>descaling</i> .....	15
Gambar 4.1.	Bak elektroplating .....	23
Gambar 4.2.	Hasil rancang bangun <i>barrel elektro-plating</i> .....	24
Gambar 4.3.	Pelapisan logam sebelum dan setelah pelapisan .....	27
Gambar 4.4.	Pengolahan limbah secara umum .....	27
Gambar 4.5.	Rangkaian alat elektrokoagulasi .....	33
Gambar 4.6.	Bagan alir pengolahan limbah eco-elektroplating .....	34
Gambar 4.7.	Kondisi limbah elektroplating pada industri .....	35
Gambar 4.8.	Rangkaian unit elektro koagulasi .....	40

## DAFTAR TABEL

Tabel 1.1.	Baku mutu limbah cair .....	7
------------	-----------------------------	---

## RINGKASAN

Produk kerajinan kuningan Juwana merupakan salah satu ikon komoditi unggulan Kabupaten Pati. Faktor-faktor yang perlu mendapatkan perhatian adalah proses produksi yang ramah lingkungan. Proses produksi diharapkan menghasilkan seminimal mungkin jumlah buangan limbah. Permasalahan / kendala yang dihadapi oleh UKM pengolahan logam kuningan adalah kurangnya kemampuan UKM dalam proses produksi, terutama sistem produksi harus memberikan jaminan keamanan terhadap pencemaran lingkungan. Untuk itu, diperlukan aplikasi teknologi proses produksi kuningan yang ramah lingkungan (*green technology*).

Buku ini disusun untuk pedoman dalam pengolahan limbah industri electroplating berbasis *green technology*, dengan mengaplikasikan teknologi mesin *barrel electroplating* dan pengolahan limbah dengan system elektrokoagulasi.

Diharapkan buku ini dapat memperluas pengetahuan masyarakat khususnya industri logam kuningan untuk menjalankan proses produksi yang aman terhadap lingkungan. Penulis menyadari bahwa masih banyak kekurangan dan ketidaksempurnaan dalam penyusunan buku ini. Oleh sebab itu masukan dan saran yang bersifat membangun sangat penulis harapkan demi penyempurnaan buku ini di masa yang akan datang.

# **BAB I**

## **TEKNOLOGI**

### **PENGOLAHAN LIMBAH**

#### **1.1 Pengertian Teknologi Industri Bersih**

Semakin pesatnya aktivitas perindustrian dan perekonomian di Indonesia, berbagai jenis limbah logam berat yang dihasilkan dapat menjadi permasalahan serius bagi kesehatan dan lingkungan. Perkembangan industri logam yang semakin pesat selain memberikan manfaat juga menimbulkan dampak negatif karena limbah yang dihasilkan dapat mencemari lingkungan. Elektroplating atau penyepuhan merupakan salah satu proses pelapisan bahan padat dengan lapisan logam menggunakan arus listrik melalui suatu larutan elektrolit. Limbah industri elektroplating merupakan salah satu jenis limbah yang perlu diperhatikan karena limbah tersebut mengandung logam berat yang berbahaya bagi kehidupan manusia (Hamdan, 2013).

Limbah logam berat seperti merkuri, timbal, kromium, nikel, tembaga, cadmium dan seng berbahaya bagi lingkungan karena tidak dapat terurai, sangat beracun dan bersifat karsinogenik. Beberapa unsur logam berat yang terdapat dalam limbah cair elektroplating antara lain besi, krom, seng, nikel, mangan dan tembaga (Nurhasni dkk., 2013). Timbal atau Plumbum (Pb) adalah metal kehitaman yang digunakan untuk pembuatan cat dan bensin. Timbal (Pb) organik (TEL singkatan dari tetra ethyl lead) ditambahkan ke dalam bensin untuk meningkatkan oktan. Timbal (Pb) dapat membahayakan kesehatan dan merusak lingkungan (Said, 2010).

Tembaga (Cu) merupakan salah satu logam berat yang banyak digunakan dalam aktivitas manusia. Tembaga adalah logam merah muda, lunak, dapat ditempa dan liat (Vogel, 1990). Tembaga banyak digunakan dalam pewarna tekstil, bahan pembuatan peralatan dapur, dan katalisator dalam industri kimia (Utami dkk., 2011).

Pengolahan limbah secara umum dapat dilakukan dengan cara fisika, kimia dan biologi. Proses pengolahan limbah secara fisika merupakan metode pengolahan air limbah dengan cara menghilangkan polutan secara fisika, seperti sedimentasi, penyaringan, *screening* dan lain-lain. Prinsip utama dari pengolahan limbah secara fisika adalah untuk menghilangkan padatan yang tersuspensi pada air. Metode pengolahan secara fisika antara lain sedimentasi dan filtrasi. Proses pengolahan air limbah secara kimia adalah proses yang melibatkan penambahan bahan kimia untuk mengubah atau destruksi kontaminan. Proses pengolahan air limbah secara kimia antara lain dengan menggunakan koagulasi dan adsorpsi. Proses pengolahan limbah dengan metode biologi adalah proses penghancuran atau penghilangan kontaminan dengan menggunakan bantuan mikroorganisme. Tujuan utama pengolahan dengan metode biologi adalah menghilangkan dan mengurangi bahan organik *biodegradable* dari air limbah ke tingkat yang dapat diterima sesuai dengan ambang batas yang telah ditentukan. Pengolahan secara biologi juga digunakan untuk menghilangkan nitrogen dan fosfor dari air limbah. Metode yang digunakan pada proses pengolahan limbah secara biologis antara lain proses anaerobik, aerobik, *bioreactor* dan lumpur teaktifasi (Riffat, 2012 dalam Adany, 2017).

Teknologi Bersih merupakan Strategi pengelolaan lingkungan yang bersifat preventif dan terpadu yang diterapkan secara terus menerus pada proses produksi, produk dan jasa sehingga meningkatkan eko-efisiensi dan mengurangi terjadinya resiko terhadap manusia dan lingkungan. Yang memiliki prinsip mereduksi limbah yang terbentuk atau mencegah timbulnya limbah pada sumbernya (*United Nations Environment Programme*). Teknik produksi bersih meliputi pencegahan pencemaran pada sumbernya dan daur ulang yang seperti terlihat pada Gambar 1.1.



**Gambar 1.1** Diagram hirarki pengelolaan lingkungan (Generousdi dan Rodesri, 2005)

Menurut hierarki di atas, biaya terbesar adalah pembuangan limbah B3. Hal ini disebabkan pembuangan limbah B3 memerlukan pengolahan atau daur ulang sehingga menghasilkan bahan atau senyawa yang tidak berbahaya bagi lingkungan. Sebaiknya dalam kosep pengolahan limbah diterapkan system 3 R, yaitu *reduce*, *reuse* dan *recycle*.

## 1.2 Dasar Hukum Pengolahan Limbah Industri

Berdasarkan Keputusan Menteri Negara Lingkungan Hidup Nomor 5 Tahun 2014 Tentang Baku Mutu Air Limbah

Menimbang :

bahwa untuk melaksanakan ketentuan Pasal 20 ayat (5) huruf b, Undang-Undang nomor 32 Tahun 2009 tentang Perlindungan dan Pengelolaan Lingkungan Hidup, perlu menetapkan Peraturan Menteri Lingkungan Hidup tentang Pengelolaan Baku Mutu Air Limbah.

Mengingat :

1. Undang-Undang Nomor 32 Tahun 2009 tentang Perlindungan dan Pengelolaan Lingkungan Hidup (Lembar Negara Republik Indonesia Tahun 2009 nomor 140);
2. Peraturan Pemerintah Nomor 19 Tahun 1999 tentang Pengendalian Pencemaran dan/atau Perusakan Laut (Lembaran Negara Republik Indonesia Tahun 1999 Nomor 32, Tambahan Lembaran Negara Republik Indonesia Nomor 3816);
3. Peraturan Pemerintah Nomor 82 Tahun 2001 tentang Pengelolaan Kualitas Air dan Pengendalian Pencemaran Air (Lembaran Negara Republik Indonesia Tahun 2001 Nomor 153, Tambahan Lembaran Negara Republik Indonesia Nomor 4161);
4. Peraturan Pemerintah Nomor 38 Tahun 2007 tentang Pembagian Urusan Pemerintahan Antara Pemerintah, Pemerintah Daerah Provinsi, dan Pemerintah Daerah Kabupaten/Kota (Lembaran Negara Republik Indonesia Tahun 2007 Nomor

- 82, Tambahan Lembaran Negara Republik Indonesia Tahun 2007 Nomor 4737);
5. Peraturan Pemerintah Nomor 27 Tahun 2012 tentang Izin Lingkungan (Lembaran Negara Republik Indonesia tahun 2012 nomor 48);
  6. Peraturan Menteri Lingkungan Hidup Nomor 12 Tahun 2006 tentang Persyaratan dan Tata Cara Perizinan Pembuangan Air Limbah ke Laut;
  7. Peraturan Menteri Negara Lingkungan Hidup Nomor 1 Tahun 2010 Tentang Tata Laksana Pengendalian Pencemaran Air;
  8. Peraturan Menteri Negara Lingkungan Hidup Nomor 16 Tahun 2010 tentang Organisasi dan Tata Kerja Kementerian Lingkungan Hidup sebagaimana diubah dengan Peraturan Menteri Lingkungan Hidup Nomor 18 Tahun 2012 tentang Perubahan atas Peraturan Menteri Lingkungan Hidup Nomor 16 Tahun 2010 tentang Organisasi dan Tata Kerja Kementerian Lingkungan Hidup (Berita Negara Republik Indonesia Tahun 2012 Nomor 1067);

Berdasarkan hal tersebut menetapkan : Peraturan Menteri Lingkungan Hidup Tentang Baku Mutu Air Limbah untuk industri logam, sebagaimana diatur pada Pasal 1, ayat 1 dan 2 sebagai berikut:

Pasal 1 :

Pasal 1 ayat 1: Industri pelapisan logam adalah industri yang bergerak dalam bidang pelapisan suatu benda logam atau plastik dengan logam lain untuk menghasilkan ketahanan terhadap korosi atau peningkatan sifat fisik atau mekanik permukaan spesifik, seperti konduktivitas elektrik, ketahanan terhadap keausan atau panas, pelumasan atau sifat lainnya.

Pasal 1 ayat 2: Industri galvanis adalah industri yang khusus melapiskan logam besi atau baja dengan logam seng baik secara elektrokimia atau pencelupan.

Kegiatan industri mempunyai potensi menimbulkan pencemaran lingkungan hidup, oleh karena itu perlu dilakukan pengendalian terhadap pembuangan limbah cair dengan menetapkan Baku Mutu Limbah Cair. Untuk melaksanakan pengendalian pencemaran air sebagaimana telah ditetapkan dalam Pasal 15 Peraturan Pemerintah Nomor 20 Tahun 1990 tentang Pengendalian Pencemaran Air perlu ditetapkan lebih lanjut dengan Keputusan Menteri Negara Lingkungan Hidup tentang Baku Mutu Limbah Cair Bagi Kegiatan Industri.

Baku mutu air limbah adalah ukuran batas atau kadar unsur pencemar dan/atau jumlah unsur pencemar yang ditenggang keberadaannya dalam air limbah yang akan dibuang atau dilepas ke dalam media air dari suatu usaha dan/atau kegiatan. Baku mutu air limbah bagi usaha dan/atau kegiatan industri ditetapkan berdasarkan:

- a) kemampuan teknologi pengolahan air limbah yang umum digunakan; dan/atau
- b) daya tampung lingkungan di wilayah usaha dan/atau kegiatan, untuk memperoleh konsentrasi dan/atau beban pencemaran paling tinggi.

Baku Mutu Limbah Cair Industri adalah batas maksimum limbah cair yang diperbolehkan dibuang ke lingkungan. Kadar Maksimum adalah kadar tertinggi yang masih diperbolehkan dibuang ke lingkungan. Baku Mutu Limbah Cair berdasarkan Keputusan Menteri LH no 5 TH 2014 dapat dilihat pada Tabel 1.1

**Tabel 1.1** Baku Mutu Limbah Cair

No	Parameter	Kadar Maksimum (mg/L)	Beban Maksimum (g/m <sup>2</sup> )
1	TSS (padatan tersuspensi total) ukuran partikel maksimal 2 $\mu$ m	20	1
2	CN (sianida)	0,2	0,01
3	Cr <sup>+6</sup> (kromium toksik)	0,1	0,005
4	Cr total (kromium)	0,5	0,025
5	Cu (tembaga)	0,6	0,030
6	Zn (seng)	1,0	0,050
7	Ni (nikel)	1,0	0,050
8	Cd (cadmium)	0,05	0,0025
9	Pb (timbal)	0,1	0,05
pH	6-9		
Volume Air Limbah Maximum Per Satuan Produk: 50 L / M <sup>2</sup> produk yang dilapisi			

(Sumber : Keputusan Menteri LH no 5 TH 2014)

# **BAB II**

## **TEKNOLOGI BERSIH PADA INDUSTRI ELEKTROPLATING**

### **2.1 Pengertian Elektroplating**

Meningkatnya kebutuhan produk logam telah mendorong berkembangnya industri elektroplating atau pelapisan logam. Perkembangan industri logam yang semakin pesat selain memberikan manfaat juga menimbulkan dampak negatif dari limbah yang dihasilkan. Elektroplating atau lapis listrik atau penyepuhan merupakan salah satu proses pelapisan bahan padat dengan lapisan logam menggunakan arus listrik melalui suatu larutan elektrolit. Larutan yang digunakan untuk penyepuhan logam harus diganti setiap dua minggu karena mutu hasil menurun akibat ketahanan kehalusan permukaan dan penampakannya. Penggantian larutan ini menyebabkan biaya produksi tinggi dan limbah elektroplating yang dihasilkan menimbulkan pencemaran karena dibuang langsung ke lingkungan. Larutan yang digunakan tersebut berupa bahan-bahan kimia yang merupakan bahan beracun dan berbahaya bagi kesehatan manusia.

Limbah dari proses elektroplating merupakan limbah logam berat yang termasuk dalam limbah B3 (Bahan Beracun Berbahaya) (Purwanto, 2005). Beberapa unsur logam yang terdapat dalam limbah cair elektroplating

antara lain besi, krom, seng, nikel, mangan, dan tembaga. Hampir semua industri pengrajin logam di kota Semarang saat ini belum memiliki pengolahan limbah yang memadai, sehingga kemungkinan pencemaran dapat terjadi terutama dari penyepuhan logam perak atau kuningan.

Kuantitas limbah yang dihasilkan dalam proses elektroplating memiliki tingkat toksisitas yang berbahaya, terutama krom, nikel dan seng. Karakteristik dan tingkat toksisitas dari air limbah elektroplating bervariasi tergantung dari kondisi operasi dan proses pelapisan serta cara pembilasan yang dilakukan. Pembuangan langsung limbah dari proses elektroplating tanpa pengolahan terlebih dahulu dapat menyebabkan pencemaran lingkungan (*Environmental Protection Agency, US., 1998*).

Proses elektroplating dapat menimbulkan cemaran lingkungan dalam bentuk larutan, koloid, maupun bentuk partikel lainnya (Gambar 2.1). Mengingat penting dan besarnya dampak yang ditimbulkan bagi lingkungan maka diperlukan suatu pengolahan terlebih dahulu sebelum *effluent* limbah tersebut dibuang ke lingkungan (



**Gambar 2.1** Limbah Elektroplating

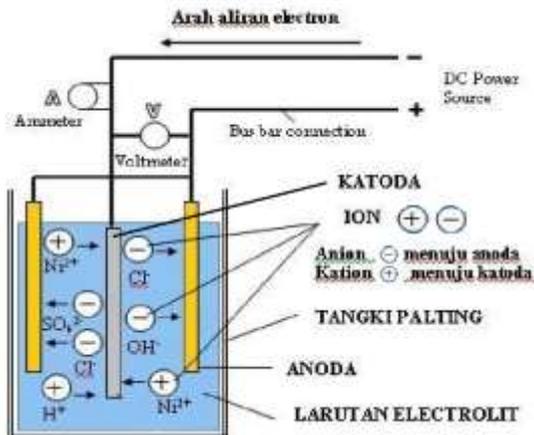
## 2.2 Prinsip Kerja Electroplating

Prinsip elektroplating adalah pelapisan suatu logam secara elektrolisa melalui penggunaan arus listrik searah (*Direct Current / DC*) dan larutan kimia (elektrolit) digunakan sebagai penyuplay ion-ion logam membentuk endapan (lapisan) logam pada elektroda katoda. Terjadinya endapan karena adanya ion-ion bermuatan listrik yang berpindah secara terus menerus dari suatu elektroda melalui larutan elektrolit.

Proses elektroplating mencakup empat hal, yaitu : pembersihan, pembilasan, pelapisan dan proteksi setelah pelapisan. Keempat hal ini dapat dilakukan secara manual atau bisa juga menggunakan tingkat otomatisasi yang lebih tinggi (Crittenden., 2005).

Oleh karena itu perlu dilakukan perbaikan proses, mulai dari proses awal, pembersihan secara mekanis dan kimia, pada proses pelapisan pelapisan dengan menentukan kondisi operasi yang tepat dan optimum, misalnya dengan konsentrasi larutan dan tegangan listrik yang tepat. Selama proses pengendapan / pembentukan deposit, terjadi reaksi kimia pada elektroda dan elektrolit baik reaksi reduksi maupun reaksi oksidasi. Reaksi ini diharapkan berlangsung terus menerus menuju arah tertentu secara tetap (Aji Prasetyaningrum, dkk., 2018).

Prinsip dasar dari pelapisan logam secara listrik ini adalah penempatan ion-ion logam yang ditambah elektron pada logam yang dilapisi. Ion-ion logam tersebut didapat dari anoda dan elektrolit yang digunakan. Anoda dihubungkan dengan kutub positif dari sumber arus listrik. Katoda dihubungkan dengan kutub negatif dari sumber arus listrik. Anoda dan katoda direndam dalam larutan elektrolit. Jika arus listrik dialirkan maka pada katoda akan terjadi endapan (pelapisan logam). Dengan adanya arus listrik yang mengalir dari sumber maka elektron dialirkan melalui elektrode positif (anoda) menuju elektrode negatif (katoda) dan dengan adanya ion-ion logam yang didapat dari elektrolit maka menghasilkan perpindahan logam yang melapisi permukaan logam lainnya. Skema proses elektroplating disajikan pada Gambar 2.2.



**Gambar 2.2** Skema Pelaksanaan Lapis Listrik (electroplating) (Purwanto, 2005)

### 2.3 Uji Kualitas Hasil Lapisan Electroplating

Menurut Soeprpto (1994) logam hasil pelapisan dengan electroplating dikatakan baik jika :

- 1) Pelapisan merata diseluruh permukaan benda kerja,
- 2) Tampak mengkilap,
- 3) Tidak cacat. Sedangkan cacat pada hasil pelapisan adalah berupa hangusnya sebagian permukaan, berbintik , kotor, buram dan terkelupas.

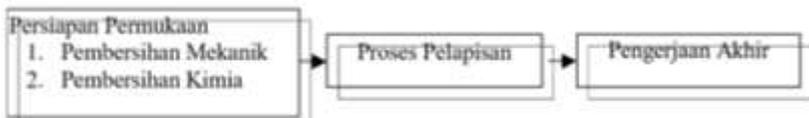
Selain itu faktor-faktor yang mempengaruhi kualitas hasil lapisan electroplating antara lain :

- 1) Kerapatan arus  
Yaitu arus yang tinggi pada saat arus diperkirakan masuk, bagaimanapun nilai kerapatan arus mempengaruhi waktu plating untuk mencapai ketebalan yang diperlukan.
- 2) Suhu  
Selain ampere yang digunakan, suhu adalah sangat penting untuk menyeleksi jalannya reaksi dan melindungi pelapisan. Keseimbangan suhu ditentukan oleh beberapa faktor seperti ketahanan, jarak anoda dan katoda.
- 3) Konsentrasi ion  
Yaitu struktur deposit, dengan naiknya konsentrasi logam dapat menaikkan seluruh kegiatan anion yang membantu mobilitas ion.
- 4) Agitasi  
Yaitu jalannya katoda dan jalannya larutan. Agitasi yang besar mungkin akan merusak, dan agitasi seharusnya disalurkan dengan tujuan untuk menghindari bentuk/struktur, penampilan, dan ketebalan pelapisan yang tidak seragam.

- 5) **Konduktifitas**  
Konsentrasi ion yang besar atau jumlah konsentrasi molekul tergantung konduktifitas larutan.
- 6) **Nilai pH**  
Faktor penting dalam mengontrol larutan electroplating adalah derajat kesamaan (pH).
- 7) **Pasifitas**  
Dimana pada logam yang mengalami korosi akan membentuk lapisan pasif. Bila hal ini terjadi pada anoda, maka ion-ion logam pelapis terus menerus menurun, sehingga akan mengganggu proses.
- 8) **Waktu pelapisan**  
Pengaruh ketebalan lapisan yang diharapkan sangat dipengaruhi oleh waktu pelapisan (Saleh, 1995)

## 2.4 Proses Pelapisan berbasis Eco-Electroplating

Secara umum proses pelapisan logam dengan listrik (*electroplating*) dibagi menjadi 3 tahap, yaitu persiapan permukaan, pelapisan logam dan pengerjaan akhir. Tahapan proses produksinya dapat dilihat pada Gambar 2.3 berikut ini.



**Gambar 2.3** Diagram Proses Elektrolisis

### 2.4.1 Persiapan Permukaan

Persiapan permukaan adalah tahap yang sangat penting dalam industri pelapisan. Pekerjaan yang tidak benar dapat menyebabkan lapisan tidak menempel,

meningkatkan porositas (rongga pada hasil), dan menurunkan ketahanan terhadap karat. Persiapan permukaan dibagi menjadi 2 aktivitas utama yaitu pembersihan dengan cara mekanik dan kimia.

1. Proses pengerjaan persiapan (pre treatment)  
Proses elektroplating dilakukan dengan persiapan permukaan benda kerja yang akan dilapisi harus dalam kondisi benar-benar bersih, bebas dari bermacam-macam pengotor.
2. Pembersihan secara mekanik  
Menghaluskan permukaan dan menghilangkan goresan-goresan dan geram-geram yang masih melekat pada benda uji. Biasanya untuk menghilangkan goresan-goresan dan geram-geram tersebut dengan mesin gerinda, sedangkan untuk menghaluskan permukaan dilakukan dengan proses polishing, dalam berbagai tingkat kehalusan yang berbeda. Umumnya juga dilakukan dengan menyikat, buffing, sand blasting, machining dan filling.
3. Pembersihan dengan pelarut atau secara kimia  
Setelah pembersihan mekanik, benda kerja biasanya membutuhkan pembersihan kimia untuk menghilangkan lemak, minyak, sisa senyawa buffing, karat, kerak, oksida dan lain-lain. Penghilangan kotoran-kotoran ini memerlukan proses kimia seperti pelarut organik, asam, dan alkalin (basa). Pembersihan ini dapat dilakukan dengan satu bahan kimia atau bisa dikombinasikan. Pembersihan dengan asam Oksida dan sejenisnya dilakukan pencucian secara kimia melalui peredaman. Larutan asam ini terbuat dari pecampuran air bersih dengan asam atau menggunakan senyawa asam kuat HCl.

- a. Pembersihan lemak dan minyak (*degreasing*)  
Untuk menghilangkan minyak, lemak, sisa senyawa buffing, cairan/oli mesin pada benda kerja dapat dilakukan dengan pelarut organik yang umum digunakan adalah perkloroetilen (PCE), trikloroetilen (TCE), III-trikloroetilen, tetrakloroetilen, Freon TE/TF TA, triklorometan, isopropyl alcohol. Alat yang digunakan untuk proses ini adalah vapor degreaser dengan prinsip pelarut organik yang dipanaskan akan menjadi uap dan akan membersihkan benda kerja.



**Gambar 2.4** Aplikasi *degreasing*

- b. Pembersihan pickling (*descaling*)  
Karat, kerak dan oksida perlu dibersihkan dari permukaan benda kerja, serta permukaan logam perlu diaktifkan sebelum diproses dalam pelapisan. Bahan pembersih atau pengaktif yang biasa digunakan adalah asam (nitrat, sulfat, hidroklorok, fluoborik, sodium metabisulfite).



**Gambar 2.5** Aplikasi *descaling*

c. *Soak Cleaning*

Proses ini termasuk dalam line pelapisan, dan biasanya benda kerja pertama kali masuk proses pelapisan ke dalam tanki ini. Bahan kimia yang digunakan dalam pelapisan ini adalah basa kuat, bahan tambahan lainnya dan deterjen yang dicampur dengan air pada suhu 71 - 93 °C. Benda kerja dicelupkan ke dalam campuran ini, kemudian dibilas atau langsung dimasukkan ke dalam proses selanjutnya.

Penerapan Eco-Elektroplating pada persiapan permukaan dengan :

- Menggunakan kembali larutan bekas pembersihan untuk pengaturan pH pada Unit Pengolah Limbah
- Larutan asam sulfat dapat disirkulasi melalui sistem recovery asam
- Menggunakan pelarut konvensional (penghilangan lemak dengan pencelupan)
- Menggunakan pelarut dengan toksisitas rendah, seperti pembersih emulsi, pelarut aqueous dan abrasif
- Menggunakan air demineralisasi
- Menggabungkan operasi pembersihan ke dalam satu operasi penghilangan lemak secara sentral

### 2.4.2 Proses Pra Pelapisan

Pada industri electroplating kuno, kebanyakan bahan kimia pembersih yang digunakan adalah sianida, sehingga bisa menghasilkan permukaan yang benar-benar bersih dan siap masuk ke proses pelapisan. Namun pada industri electroplating yang modern dan mengaplikasikan *green technology* sehingga telah diganti dengan bahan non sianida, sehingga satu proses tidaklah cukup untuk benar-benar membersihkan permukaan logam. Oleh karena itu proses pra pelapisan masih diperlukan.

Tujuan pra pelapisan ini antara lain menghilangkan sisa kotoran dan semua oksida pada permukaan benda kerja. Pra pelapisan ini terdiri dari proses pembersihan (*cleaning*), pencelupan asam, dan *striking*. Setelah proses pelapisan benda dibilas kemudian dikeringkan sebelum dipacking.

Penerapan Eco-Elektroplating pada pra pelapisan dengan :

- Pengambilan kembali larutan proses
- Perbaikan proses yang mengurangi pembentukan limbah
- Pelapisan tembaga alkalin tanpa sianida
- Recovery/recycle bahan kimia
- Mengecek dan memperbaiki seluruh tanki, pompa, kran yang bocor, dll.
- Merawat rak pelapis dan anoda untuk mencegah kontaminasi larutan.
- Memasang alarm permukaan cairan pada seluruh lapisan pelapis dan tanki pembilas untuk menghindari luapan.

- ❑ Melatih pekerja dengan benar sehingga mereka mengerti pentingnya minimisasi kontaminasi larutan dan pembentukan limbah serta mencegah tumpahan.

### **2.4.3 Proses Pengerjaan Akhir**

Pada beberapa benda yang sudah dilapis, masih memerlukan tambahan proteksi karat atau untuk mengubah warna lapisan. Misalkan aplikasi lilin atau fernis untuk meningkatkan ketahanan kilauan, dan pelapisan konveksi kromat dilanjutkan dengan cadmium atau pelapisan lainnya untuk menghasilkan lapisan kromat (untuk mengubah warna dari transparan sampai hijau olive). Pelapisan kuningan sering diolah dengan berbagai larutan kimia untuk mengubah warna dari hijau sampai hitam dan merah. Larutan pada proses akhir ini mengandung bahan-bahan kimia seperti asam nitrat, sodium dikromat, selenium, arsenic, antimony, dan bahan berbahaya lainnya. Proses ini bisa menjadi satu line pelapisan atau terpisah.

Penerapan Eco-Elektroplating pengerjaan akhir :

- ❑ Minimalisasi pembentukan limbah
- ❑ Recovery/recycle bahan kimia
- ❑ Penerapan perbaikan proses untuk mengurangi proses pengelupasan atau pengerjaan ulang
- ❑ Prosedur pencampuran bahan kimia dilakukan dengan ketat
- ❑ Penugasan hanya kepada beberapa pekerja untuk menangani dan mencampur bahan kimia, hal ini akan meningkatkan konsistensi formulasi larutan dan akan mengurangi limbah

# **BAB III**

## **TUJUAN DAN MANFAAT ECO-ELEKTROPLATING**

### **3.1 Tujuan Teknologi Bersih pada Industri**

Penerapan prinsip-prinsip teknologi produksi bersih merupakan upaya mengurangi beban biaya untuk memenuhi peraturan pengelolaan lingkungan, karena jumlah limbah yang mungkin terbentuk relative berkurang dari jumlah limbah apabila tidak menerapkannya. Dalam banyak contoh biaya pengelolaan limbah dapat dieliminasi dengan diterapkannya teknologi produksi bersih. Pengurangan limbah melalui teknologi produksi bersih juga dapat meningkatkan produksi serta meningkatkan daya saing industri.

Penerapan produksi bersih di Indonesia dalam rangka meningkatkan daya saing industry juga berlaku untuk jenis industri electroplating. Dalam proses produksinya, jenis industri ini selain menghasilkan limbah yang berupa logam berat (*heavy metal*) juga menghasilkan limbah B3. Untuk meminimalisasi terjadinya pencemaran lingkungan, industri electroplating harus menerapkan produksi bersih, sehingga efisiensi dan efektivitas dalam proses produksinya dapat dioptimalkan.

Cara yang paling efektif untuk program pencegahan dan pengendalian pencemaran limbah industri, melalui: substitusi bahan dan pemanfaatan kembali bahan (reuse) dan pemakaian kembali bahan (recycle).

### 3.2 Keuntungan Penerapan Teknologi Bersih

Keuntungan yang diperoleh dengan menerapkan konsep produksi bersih antara lain adalah :

- Meningkatkan efisiensi pemakaian bahan baku dan energi,
- Mengurangi jumlah dan tingkat racun semua emisi dan limbah sebelum meninggalkan proses,
- Meningkatkan usaha kebersihan (*“Good Housekeeping”*) dan efisiensi.
- Perubahan dalam proses untuk mereduksi emisi dan limbah.
- Penggunaan kembali dan daur ulang di dalam proses.
- Memformulasikan dan mendesain kembali produk
- Mensubstitusi dan mengurangi pemakaian bahan kimia mengandung B3
- Perubahan sikap dan prilaku dalam manajemen pengolahan lingkungan.
- Menghemat konsumsi air
- Menghemat biaya pengolahan air limbah
- Mengurangi produk cacat
- Mengurangi bahan kimia yang dipergunakan
- Mengurangi biaya tenaga kerja sehingga dapat mengurangi biaya produksi tahunan

Keberhasilan program produksi bersih bila terbentuk :

- Kesadaran dan partisipasi karyawan
- Peningkatan prosedur operasi
- Pelatihan karyawan
- Peningkatan penjadualan dan proses

# **BAB IV**

## **PELAKSANAAN ECO-ELEKTROPLATING**

Implementasi introduksi teknologi dilakukan optimalisasi proses produksi dengan teknologi *eco-electroplating* (formulasi bahan dan waktu pelapisan) serta rancang bangun mesin *barrel plating* untuk memaksimalkan hasil produksi dan meminimalkan penggunaan larutan. Selanjutnya dilakukan proses pengolahan limbah cair proses *electroplating* dengan proses elektrokoagulasi sehingga mampu mengurangi beban pencemaran lingkungan.

### **4.1 Rancang Bangun Mesin Produksi (*Barrel Elektroplating*)**

*Plating* (penyepuhan) mirip dengan pengecatan (*coating*). Tujuannya untuk meningkatkan ketahanan terhadap aus, korosi, konduktivitas listrik. Benda kerja (katode) disepuh dengan logam yang berbeda (anode) yang ditransfer melalui cairan elektrolit.

Urutan proses electroplating adalah sebagai berikut:

1. Ion logam dari katode dilepaskan dari sumber listrik dan dikirim ke logam garam
2. Ion logam terlarut dalam larutan
3. Ion logam diendapkan pada katode

Tiga jenis alat elektroplating adalah:

1. *Rack plating*, material yang disepuh ditempatkan dalam rack
2. *Barrel plating*, material ditempatkan disebelah barrel yang dapat ditembus
3. *Brush processing*, larutan elektrolit dipompakan melalui sebuah pembersih sehingga melalui benda kerja secara menyeluruh

Diantara ketiga jenis alat elektroplating tersebut, mesin *Barrel plating* adalah yang paling efektif untuk pelapisan galvanis (Aji Prasetyaningrum, dkk., 2018).

Keunggulan mesin *Barrel plating* adalah:

1. Memperbaiki penampilan (dekoratif), misalnya untuk pelapisan galvanis, kuningan, dan tembaga.
2. Melindungi logam dari korosi, yaitu; Melindungi logam dasar dengan logam yang lebih mulia, misalnya : pelapisan platina, emas dan baja. Melindung logam dasar dengan logam yang kurang mulia, misalnya pelapisan seng pada baja
3. Meningkatkan ketahanan produk terhadap gesekan (abrasi), misalnya pelapisan chromium keras.
4. Memperbaiki kehalusan atau bentuk permukaan dan toleransi logam dasar, misalnya : pelapisan nikel, cromium.

Komponen penyusun mesin barel plating:

**a. Rectifier**

Rectifier merupakan peralatan utama dalam proses pelapisan secara eletronik yang berfungsi sebagai sumber arus searah (DC) dan penurun tegangan.

Pada saat sekarang ini rectifier sudah cukup efisien karena amper meter dan tahanan variabel berbentuk kesatuan dalam rectifier. Ada dua macam rectifier yang banyak digunakan industri - industri lapis listrik. yaitu: rectifier selenium dan rectifier silikon.

**b. Bak *electroplating* dan bahan kimia**

Bak diperlukan untuk menampung atau tempat larutan elektrolit, larutan pencuci dan air pembilas. Bahan bak tergantung pada larutan yang ditampungnya dan diutamakan tahan terhadap akan terjadinya pengkaratan serta tahan pada suhu tertentu. Biasanya bahan bak terbuat dari baja yang bagian dalamnya di lapiasi plastik, karet, FRT (glasfiber Remforced Polyster resin) atau semua terbuat dari PVC (Polyvinil Chloride Resin).



**Gambar 4.1.** Bak elektroplating

**c. Barrel**

Barrel berfungsi sebagai tempat barang yang akan dilapisi (katoda). Barrel biasanya digunakan untuk produk ukuran kecil, misalnya: baut, mur dan lain-lain. Bentuk dan ukuran barrel ini telah mempunyai standar tertentu sesuai dengan kapasitas barang yang akan dilapis.



**Gambar 4.2** Hasil Rancang Bangun Mesin *Barrel Elektro-Plating*

Spesifikasi Mesin *Barrel Plating*

Dimensi Alat : Panjang 120 cm, lebar 75 cm,  
tinggi 80 cm

Bahan : Stainless Steel dan Poly Propylen  
(tebal 10 mm)

Ukuran Barrel :

1. Diameter 50 cm, Panjang 90 cm
2. Kapasitas terpasang 75 kg/barrel untuk produksi baut

Mesin / Bak :

1. 4 barrel plating active
2. 1 unit trafo 2.000 Amp (*rectifier*)
3. 1 unit filter
4. Motor penggerak 0,5 Hp

## 4.2 Optimalisasi Proses Produksi

Sifat –sifat pelapisan krom memberikan hasil yang baik apabila: warna putih kebiruan, reflektifitas tinggi, resistan kusam / pudar yang baik, resistan karat dan gesekan. Sebelum dilakukan proses pelapisan krom, logam di treatmen atau dilakukan pengerjaan polishing (amril, selep, polish) yang mana tujuan dari pekerjaan itu adalah :

1. Menghilangkan kerak yang terjadi pada saat proses pengecoran logam.
2. Menghilangkan lapisan oksidasi yang ada dipermukaan logam.
3. Mempersiapkan logam untuk proses pelapisan agar hasilnya lebih halus dan mengkilap

Pemolesan (buffing) dengan menggunakan batu amril emery dari yang paling kasar sampai paling halus. Selanjutnya proses selep, dilakukan untuk memperhalus permukaan logam menggunakan polesh compound. Tahap terakhir adalah polishing, dilakukan agar logam mengkilap seperti kaca. Setelah proses polishing selanjutnya dilakukan degreasing, adalah suatu proses untuk menghilangkan lemak dan lilin atau parafin yang terjadi selama proses polishing. Teknik degreasing ada beberapa macam; Soak cleaning, menggunakan larutan alkalin.

Tujuan kegiatan adalah meminimalkan limbah elektrolit, serta mendapatkan produk kuningan yang lebih cemerlang dengan kualitas yang sama seperti kuningan impor dari China. Selama ini proses elektroplating menggunakan cara yang konvensional, dengan waktu elektroplating 15 menit (untuk pelapisan awal dengan Nikel), dan 10-15 detik pelapisan brust (kuningan) atau

Khrom. Formula yang digunakan pada pelapisan Nikel adalah  $\text{NiSO}_4$  dan  $\text{NiCl}_2$  dengan rasio 3:1, sehingga didapatkan konsentrasi total 300 gram/L. Adapun pada pelapisan Brust atau Khrom digunakan larutan dengan konsentrasi 250 gr/L, suhu operasi 50 – 60°C, voltase 9 Volt, arus 300 – 600 A, dan waktu operasi 5 – 10 detik. Hasil dari proses konvensional: *warna pelapisan pucat, dan tidak menarik*. Harga jual produk (engsel/handle jendela) Rp 30.000/lusin. Efek lain adalah limbah buangan masih mengandung logam dengan konsentrasi yang tinggi (>1000 ppm).

Setelah diterapkan konsep *eco-electroplating* dengan introduksi teknologi mesin *barrel plating* dapat diperoleh optimalisasi konsentrasi dan komposisi, jenis elektrolit, efektifitas arus listrik untuk plating, serta waktu proses yang optimal. Logam Chrom yang dilapiskan akan banyak yang menempel pada logam yang dilapis, sehingga limbah elektrolit dapat minimal. Pada proses ini formula yang digunakan adalah; konsentrasi Kobalt Sianida 52 g/l, Seng Sianida 90 g/l, garam rosele 45 g/l, sodium karbonat 30 g/l, amonia 13 ml/l, bahan pencemerlang (brightener) 4 – 7 cc/L, suhu operasi 50 – 60°C, voltase 9 Volt, serta kerapatan arus 4- 6 A/ft<sup>2</sup>, dengan waktu operasi 5 – 10 detik tergantung ketebalan yang diinginkan. Bahan-bahan elektrolit ini akan dipakai terus, sampai efektifitas terhadap pelapisan mengalami penurunan. Elektrolit yang dibuang ini selanjutnya diolah menjadi limbah yang aman bagi lingkungan. Pengolahan limbah akan dilakukan pada tahap selanjutnya, yaitu dengan system elektro-koagulasi. Berikut adalah perbedaan logam yang sudah dilapis krom dengan logam yang belum dilapis.



Logam yang belum dilapis

Logam yang sudah dilapis

**Gambar 4.3** Hasil pelapisan logam sebelum dan setelah pelapisan

### 4.3 Pengolahan Limbah Cair

#### 4.3.1 Pengolahan limbah secara umum

Pembuangan langsung limbah elektroplating ke lingkungan tanpa pengolahan terlebih dahulu dapat menyebabkan pencemaran lingkungan. Mengingat penting dan besarnya dampak yang ditimbulkan bagi lingkungan maka diperlukan suatu pengolahan terlebih dahulu sebelum efluent limbah tersebut dibuang ke lingkungan. Pengolahan limbah secara umum dapat dilakukan dengan fisika, kimia dan biologi.



**Gambar 4.4** Pengolahan limbah secara umum

➤ Pengolahan limbah secara fisika

Proses pengolahan secara fisika merupakan metode pengolahan air limbah dengan cara menghilangkan polutan secara fisika, seperti sedimentasi, penyaringan, screening dan lain-lain. Prinsip utama dari pengolahan limbah secara fisika adalah untuk menghilangkan padatan yang tersuspensi pada air (Riffat, 2012 dalam Adany, 2017). Metode pengolahan secara fisika antara lain sedimentasi dan filtrasi.

Sedimentasi adalah proses pemisahan partikel yang tersuspensi di air. Partikel yang tersuspensi di air memiliki massa jenis yang lebih besar daripada air. Proses sedimentasi merupakan pemisahan yang dipengaruhi gaya gravitasi berdasarkan perbedaan partikel yang tersuspensi dengan larutannya (Carlsson, 1998 dalam Adany, 2017). Proses sedimentasi diamati pada proses pengolahan air limbah pada industri tepung jagung. Pengamatan menunjukkan bahwa tidak semua partikel yang tersuspensi dapat mengendap. Partikel yang lebih besar membutuhkan waktu yang lebih lama untuk menghilangkan partikel yang lebih besar. Saat ini metode sedimentasi terutama di industri terus dikembangkan dengan cara melakukan modifikasi pada tangki sediment. Salah satunya dengan memodifikasi vortex pada tangki sedimen. Modifikasi vortex menunjukkan terdapat peningkatan proses sedimentasi (Ochowiak dkk., 2017 dalam Adany, 2017).

Proses filtrasi pada air limbah dapat digunakan untuk menghilangkan logam berat seperti Pb (II), Cd (II), Cu (II). Proses penyaringan menunjukkan faktor yang mempengaruhi dalam proses penghilangan

logam berat adalah adsorpsi kimia dan presipitasi. Pada proses penyaringan logam berat dengan batu ganping meliputi proses adsorpsi maupun absorpsi.

➤ Pengolahan limbah secara kimia

Proses pengolahan air limbah secara kimia adalah proses yang melibatkan penambahan bahan kimia untuk mengubah atau destruksi kontaminan (Riffat, 2012 dalam Adany, 2017). Proses pengolahan air limbah secara kimia antara lain dengan menggunakan koagulasi dan adsorpsi.

Proses koagulasi adalah proses pengendapan partikel yang tersuspensi dengan menggunakan bahan kimia. Berdasarkan jenisnya koagulan dibagi menjadi dua jenis yaitu koagulan yang berasal dari alam dan koagulan sintetik. Koagulan sintetik memiliki kekurangan seperti dapat menyebabkan polusi dan menyebabkan penyakit alzheimer. Salah satu contoh koagulan sintetik adalah Poly aluminium klorida (PAC) dan Aluminium Sulfat (Alum). Selain koagulan sintetik, koagulan yang berasal dari bahan alam juga dapat digunakan untuk proses koagulasi seperti kacang babi dan biji asam jawa (*Vicia faba*) dan biji asam jawa (*Tamarindus indica*).

Adsorpsi adalah suatu proses ketika molekul yang terlarut (adsorbat) dihilangkan dengan cara menempelkan adsorbat pada permukaan adsorben. Adsorben harus memiliki luas permukaan yang tinggi, contoh adsorben antara lain alumina, clay, hidroksida, resin, dan karbon teraktivasi. Proses adsorpsi dipengaruhi oleh diameter partikel, konsentrasi adsorbat, suhu, berat molekul dan pH (Samer, 2015 dalam Adany, 2017). Dalam pengolahan air limbah biasanya proses adsorpsi

digunakan untuk menghilangkan zat warna dari air limbah (Adany, 2017).

➤ Pengolahan limbah secara biologi

Proses pengolahan limbah dengan metode biologi adalah proses penghancuran atau penghilangan kontaminan dengan menggunakan bantuan mikroorganisme. Tujuan utama pengolahan dengan metode biologi adalah menghilangkan dan mengurangi bahan organik *biodegradable* dari air limbah ke tingkat yang dapat diterima sesuai dengan ambang batas yang telah ditentukan. Pengolahan secara biologi juga digunakan untuk menghilangkan nitrogen dan fosfor dari air limbah (Riffat, 2012 dalam Adany, 2017). Beberapa metode yang digunakan pada proses pengolahan biologis antara lain proses anaerobik, aerobik, bioreactor dan lumpur teaktifasi.

Lumpur teraktivasi merupakan suatu metode berdasarkan populasi bakteri yang tersuspensi pada limbah air dengan kondisi aerobik. Penggunaan metode lumpur teraktivasi pada limbah cair industri adalah limbah cair dimasukkan ke dalam tangki aerasi yang berisi mikroorganisme aerobik. Di dalam tangki aerasi terjadi proses perombakan bahan organik menjadi  $\text{CO}_2$  dan  $\text{H}_2\text{O}$ . Limbah yang telah diolah kemudian dialirkan dari tangki aerasi ke dalam tangki sedimentasi. Dalam tangki sedimentasi ini terjadi pemisahan mikroorganisme dengan air limbah. Mikroorganisme tersebut akan terkumpul satu sama lain dan membentuk flok mikroorganisme yang turun ke bagian bawah tangki sedimentasi sebagai *sludge* atau lumpur biomassa. Lumpur biomassa ini akan dikeluarkan dari tangki sedimentasi dan sebagian kecil dikembalikan ke tangki aerasi 1. Sisanya

dialirkan ke tangki aerasi 2 untuk penambahan nutrisi. Setelah proses penambahan nutrisi tersebut limbah dialirkan kembali ke tangki sedimentasi untuk pemisahan lumpur dan air limbah yang telah diolah, Penggunaan lumpur teraktivasi menurunkan kadar COD, BOD, dan TDS dari air limbah (Adany, 2017).

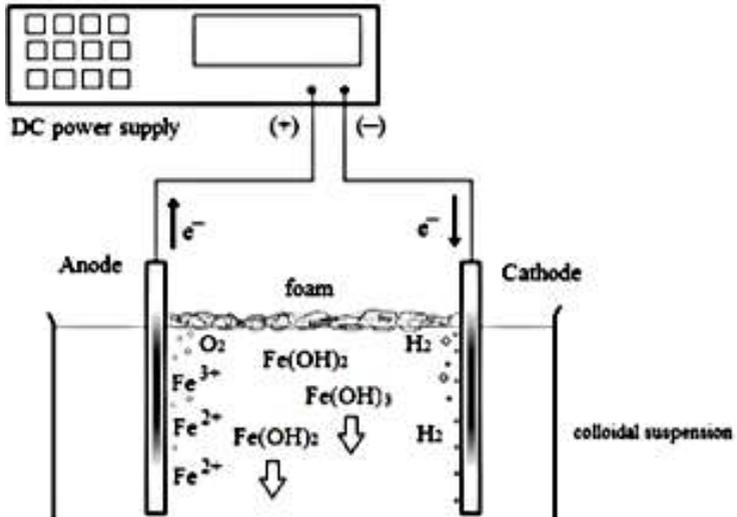
Biofiltrasi atau biasa disebut dengan *trickling filters*, *percolating filters*, dan *bakteria beds* adalah proses sekunder yang digunakan untuk air limbah dosmetik. Metode biofilter menghasilkan air dengan kualitas yang baik, misalnya < 20 mg BOD/l dan <30 mg SS/l. (Mara, 2013 dalam Adany, 2017). Pada biofilter mikroorganismе dipasang pada media berpori untuk mendegradasi polutan yang berada aliran air limbah. Mikroorganismе tumbuh dalam biofilm pada permukaan medium atau tersuspensi dalam fase air yang mengelilingi partikel medium. Kinerja biofilter dipengaruhi oleh inokulasi mikroba, pH, suhu, kelembaban dan kandungan hara (Srivastava dan Majumder, 2008 dalam Adany, 2017). Salah satu aplikasi biofilter digunakan untuk menghilangkan logam berat dari air limbah. Selain logam berat biofilter juga digunakan untuk menghilangkan toluene dalam air limbah. Salah satu aplikasi biofilter adalah dalam proses degradasi toluene. Material yang digunakan sebagai penyaring harus memiliki luas permukaan yang tinggi, kapasitas air tinggi, densitas rendah, dan porositas yang tinggi. Mikroba di letakan di dalam filter. Salah satu mikroba yang dapat digunakan adalah mikroba yang berasal dari kompos kotoran sapi. Mikroba yang berasal dari kompos kotoran sapi karena memiliki berbagai macam jenis mikroba. Penghilangan toluene paling besar sebesar 97% ketika jumlah mikroba yang ditambahkan 60,5

$\text{gm}^3\text{h}^{-1}$ . Akan tetapi, sensitifitas dari biofilter akan menurun ketika kondisi lingkungan berubah (Rajamanickam dan Baskaran, 2017 dalam Adany, 2017).

#### **4.3.2 Pengolahan Limbah dengan Elektrokoagulasi**

Elektrokoagulasi adalah pengolahan air limbah alternatif yang menggabungkan proses elektrokimia dengan koagulasi kimia konvensional (Marriaga *et al.*, 2014). Banyak penelitian telah dilakukan untuk mengevaluasi kinerja teknik ini dalam beberapa air limbah. Antara lain digunakan untuk mengolah limbah logam berat dan limbah tekstil.

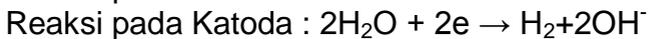
Faktor-faktor yang mempengaruhi proses elektrokoagulasi antara lain kuat arus, pH larutan, jenis elektroda, jarak elektroda dan waktu (Mikko, 2012). Elektroda yang digunakan dalam elektrokoagulasi dapat berupa banyak logam seperti besi, aluminium dan platinum. Namun, yang paling sering digunakan dalam proses elektrokoagulasi adalah Fe dan Al karena efisiensi penyingkiran yang tinggi, tingkat pelarutan ion yang tinggi, harga yang murah dan kemampuan untuk menggunakan kembali logam yang sama untuk beberapa percobaan. Beberapa keuntungan utama dari elektrokoagulasi adalah kemudahan operasi, kemampuan buffer pH, produksi lumpur rendah, kandungan racun yang lebih rendah dan penanganan yang mudah dengan permukiman yang lebih baik, floks yang terbentuk sebagai hasil dari elektrokoagulasi yang lebih besar, tahan asam, dan lebih stabil dan karenanya mudah dan cepat untuk dihilangkan melalui filtrasi (Pokhrel, 2017).



**Gambar 4.5** Rangkaian Alat Elektrokoagulasi

Proses elektrokoagulasi pada prinsipnya berdasarkan pada proses sel elektrolisis. Sel elektrolisis merupakan suatu alat yang dapat mengubah energi listrik DC (*direct current*) untuk menghasilkan reaksi elektrolitik. Setiap sel elektrolisis mempunyai dua elektroda, katoda dan anoda. Anoda berfungsi sebagai koagulan dalam proses koagulasi-flokulasi yang terjadi di dalam sel tersebut. Sedangkan di katoda terjadi reaksi katodik dengan membentuk gelembung-gelembung gas hidrogen yang berfungsi untuk menaikkan flok-flok tersuspensi yang tidak dapat mengendap di dalam sel (Hanum *et al.*, 2015).

Reaksi yang terjadi pada sel elektroda dengan anoda dan katoda yang digunakan aluminium adalah:



Teknik pengolahan limbah yang digunakan adalah pengendapan dengan kapur ( $\text{Ca}(\text{OH})_2$ ). Endapan dalam bentuk padat ditampung dan dapat dibuat produk lain seperti batako, atau pun pot semen (dengan diuji TCLP terlebih dahulu, atau tingkat kelarutan akibat air hujan atau air). Sedangkan filtratnya dapat diserap dengan zeolite alam. Setelah itu dilakukan reaksi ozonasi untuk mendegradasi kandungan logam berat yang terdapat di dalam limbah. Sebelum dibuang dialirkan dalam bak kontrol yang ditanami enceng gondok yang berfungsi untuk menguji kesiapan limbah dibuang ke lingkungan. Bagan alir ditampilkan pada Gambar 3.1.



**Gambar 4.6.** Bagan Alir Pengolahan limbah konsep eco-elektroplating

Beberapa proses penghilangan kandungan logam berat dapat dilakukan melalui proses pengolahan secara kimia seperti dengan presipitasi (pengendapan), adsorpsi (penyerapan), filtrasi (penyaringan) dan koagulasi. Elektrokoagulasi merupakan salah satu metode yang efisien dan mudah dalam pengoperasiannya untuk mengurangi kadar logam berat melalui reaksi elektrolisis dan tidak dibutuhkan penambahan koagulan kimia (Mikko, 2012)

Prinsip kerja elektrokoagulasi flotasi adalah pelarutan logam anoda (M+) yang kemudian bereaksi dengan ion hidroksil (OH-) membentuk koagulan. Koagulan ini akan mengadsorpsi polutan-polutan menjadi senyawa berpartikel besar yang tidak larut yang akan terflotasi ke permukaan bak proses (Bratby *et al.*, 2006).

Keunggulan teknologi elektrokoagulasi dibandingkan dengan teknologi koagulasi secara konvensional meliputi aspek ekonomi yaitu: investasi relatif murah, perbaikan alat relatif mudah, membutuhkan energi yang rendah, biaya perawatan alat relatif murah. Proses elektrokoagulasi juga menghasilkan volume limbah yang relatif kecil dibandingkan proses pengendapan secara konvensional. Kualitas endapan yang dihasilkan juga lebih baik karena mengandung sedikit air, endapan mengandung sedikit logam berat, dan sifat endapan lebih stabil (Mansouri., 2011). Efisiensi proses elektrokoagulasi lebih tinggi dibandingkan dengan koagulasi secara konvensional. Proses elektrokoagulasi tidak membutuhkan tambahan bahan kimia, sehingga proses ini direkomendasikan aman bagi lingkungan (*green technology*) (Mollah *et al.*, 2001).



**Gambar 4.7.** Kondisi Limbah Elektroplating pada Industri

### 4.3.3 Faktor yang Mempengaruhi Elektrokoagulasi

Ada berbagai faktor yang berpengaruh pada efisiensi elektrokoagulasi dalam menghilangkan polutan dari air. Penghilangan logam berat dalam air limbah dipengaruhi oleh berbagai kondisi seperti perbedaan potensial, keasaman, waktu reaksi, jarak antara elektroda, dan jenis elektroda yang dipilih (Kashefi, *et.al.*, 2014). Faktor yang diketahui memiliki efek adalah :

#### A. Rapat Arus

Kerapatan arus berbanding lurus dengan laju reaksi elektrokimia yang terjadi pada permukaan elektroda dan juga memiliki pengaruh pada potensial elektroda (Mouedhen *et al.*, 2008). Pengaruh rapat arus pada proses elektrokoagulasi telah dipelajari oleh beberapa peneliti antara lain pada penelitian Dermentzis *et al.* (2011) meneliti tentang proses elektrokoagulasi limbah logam berat untuk menghilangkan nikel dari larutan air sintesis dan air limbah elektroplating sebenarnya diselidiki dengan kondisi optimum rapat arus  $30 \text{ mA/cm}^2$  berhasil menurunkan konsentrasi  $\text{Ni}^{2+}$  dari  $500 \text{ mg/L}$  menjadi  $172,5 \text{ mg/L}$ . Penelitian Hossain *et al.* (2013) meneliti tentang pengolahan limbah tekstil dengan proses elektrokoagulasi didapat hasil optimal pada rapat arus  $85\text{-}95 \text{ A/m}^2$  berhasil menurunkan kadar Cr dari  $800 \text{ mg/L}$  menjadi  $24,96 \text{ mg/L}$ . Penelitian Ghernaout *et al.* (2014) meneliti tentang proses elektrokoagulasi untuk menghilangkan pewarna organik, mendapatkan hasil optimum dengan pada rapat arus  $350 \text{ A/m}^2$  menurunkan dari  $1000 \text{ mg/L}$  menjadi  $140 \text{ mg/L}$  pewarna organik. Penelitian Nasrullah *et al.* (2014) meneliti tentang pengolahan air limbah oleh elektrokoagulasi dengan kepadatan arus sel yang tinggi  $1816 \text{ A/m}^2$  mendapat hasil optimum penurunan COD dari  $466 \text{ mg/L}$  menjadi 9

mg/L. Dan pada penelitian Den *et al.* (2016) meneliti tentang penggunaan teknologi Elektrokoagulasi sebagai perawatan pasca untuk BTDW dengan rapat arus 35,92 A / m<sup>2</sup> mendapat hasil optimal penurunan COD, nitrat, dan fosfat sebesar 50%, 26% dan 61%

## **B. pH Larutan**

Salah satu parameter utama pada proses elektrokoagulasi adalah pH larutan, pH larutan berpengaruh terhadap konduktivitas larutan, disolusi elektroda dan spesiasi hidroksida (Miko, 2012). Beberapa peneliti yang menggunakan parameter pH saat proses elektrokoagulasi antara lain Ibrahim *et al.* (2012) meneliti tentang pengolahan efluen berminyak dengan elektrokoagulasi mendapat hasil optimal pada pH 6,7 menurunkan COD dari 11 mg/L menjadi 0,66 mg/L. Penelitian Rajemahadik *et al.* (2013) meneliti tentang pengolahan limbah logam berat dengan proses elektrokoagulasi mendapat hasil optimum pada pH 9 sebesar 100% penurunan logam berat dari 1,8 mg/L Cr, 25 mg/L Ni, 1,2 mg/L Zinc, dan 0,25 mg/L Fe. Penelitian Beyazit. (2014) meneliti tentang penghapusan Cu (II), Cr (VI), Ni (II) dari air limbah pelapisan logam dengan elektrokoagulasi mendapat hasil optimum pada pH 9 sebesar 100% untuk pengurangan semua logam dari 12,6 mg/L Cu, dan 13,9 mg/L Ni. Penelitian Un *et al.* (2015) meneliti tentang penghilangan cadmium (Cd), tembaga (Cu) dan nikel (Ni) dari air limbah sintesis dengan metode elektrokoagulasi, mendapat hasil optimal pada pH 7 untuk penghilangan Cd dari 50 mg/L menjadi 0,11 mg/L, Cu dari 50mg/L menjadi 0,01 mg/L, Ni dari 50 mg/L menjadi 0,05 mg/L. Dan penelitian Dermentzis *et al.* (2016) meneliti tentang pengolahan air limbah logam berat dengan proses elektrokoagulasi fotovoltik (PV-EC)

mendapat hasil optimal pada pH 3 penurunan COD 500 mg/L menjadi 172,5 mg/L.

### **C. Jenis Elektroda**

Jenis elektroda menentukan reaksi elektrokimia yang terjadi di sistem elektrokoagulasi. Elektroda aluminium dan besi telah berhasil digunakan dalam sistem elektrokoagulasi, pada penelitian Zongo *et al.* (2009) meneliti tentang pengolahan air limbah industri yang mengandung Cr (VI) oleh elektrokoagulasi menggunakan elektroda Al atau Fe mendapat hasil optimal pada jenis elektroda Fe dengan penurunan Cr dari . Penelitian Chandrasen *et al.* (2017) meneliti tentang perawatan lanjutan limbah logam berat menggunakan elektrokoagulasi, mendapat hasil optimal menggunakan kombinasi jenis elektroda Fe-Al sebesar 100% dengan hasil Cd dari 50 mg/L menjadi 0,11 mg/L, Cu dari 50mg/L menjadi 0,01 mg/L, Ni dari 50 mg/L menjadi 0,05 mg/L.. Penelitian Ana *et al.* (2014) meneliti tentang perawatan elektrokimia dari air limbah industri perah menggunakan sistem gabungan yang terdiri dari elektrokoagulasi (EC), reaksi Fenton dan pengolahan ozon mendapat hasil optimal menggunakan jenis elektroda Al-Fe, hasil penghapusan COD 5902 mg/L menjadi 4131,4 mg/L.

### **D. Waktu**

Pengaruh waktu terhadap proses elektrokoagulasi telah diteliti oleh beberapa peneliti yaitu penelitian Elabbas *et al.* (2015) meneliti tentang kemampuan elektrokoagulasi untuk menghilangkan COD dan kromium secara bersamaan dari air limbah *tanning* krom mendapat hasil penurunan optimal pada waktu 6 jam dengan hasil penurunan 1600 mg/L menjadi 436,96 mg/L. Penelitian Chakchouk (2017) meneliti tentang

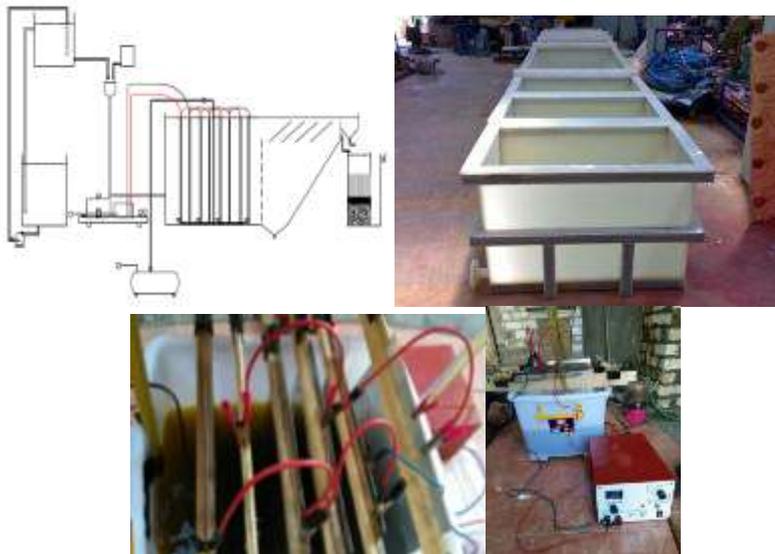
penghapusan senyawa organik dalam air limbah perah menggunakan elektrokoagulasi mendapat hasil optimum dengan waktu reaksi 21 menit penurunan COD dari 1000 mg/L menjadi 400 mg/L. Penelitian Francisco *et al.* (2017) meneliti tentang elektrokoagulasi-fitoremediasi gabungan untuk pengurangan tembaga, timah kadmium, dan seng, dalam larutan mendapat hasil optimal dengan waktu operasi 180 menit mengalami penurunan logam Cu dari 119 mg/L menjadi 0,952 mg/L, Cd dari 75 mg/L menjadi 0,952, dan Pb dari 16 mg/L menjadi 0,096.

#### 4.4 Perancangan Peralatan Elektrokoagulasi

Rancang bangun peralatan elektrokoagulasi terdiri dari bak umpan (40 liter), bak proses (300 liter), dan bak filtrasi (30 liter). Jenis elektroda anoda-katoda yang dipilih adalah Almunium (Al) dan Besi (Fe) dan Stainless Steel yang berdimensi 25 cm x 50 cm sebanyak 4 pasang dengan jarak 2,5 cm. Tolok ukur keberhasilan program ini adalah dihasilkan baku mutu air limbah industri, sesuai dengan baku mutu air limbah elektroplating yang tertuang dalam Peraturan Menteri Lingkungan Hidup Republik Indonesia No. 5 Tahun 2014. Peralatan elektrokoagulasi disajikan pada Gambar 4.8

Selama ini teknologi pengolahan air limbah pada industri berbasis logam adalah **koagulasi-flokulasi**. Teknologi ini mempunyai kelemahan pada biaya pengolahan yang tinggi dan volume sludge besar. Untuk itu dilakukan introduksi teknologi berdasarkan prinsip **elektrokoagulasi flotasi**. Prinsip kerja elektrokoagulasi

flotasi adalah pelarutan logam anoda ( $M^+$ ) yang kemudian bereaksi dengan ion hidroksi ( $OH^-$ ) membentuk koagulan. Koagulan ini akan mengadsorpsi polutan-polutan menjadi senyawa berpartikel besar yang tidak larut yang akan terflotasi ke permukaan bak proses. (Aji Prasetyaningrum dkk, 2018).



**Gambar 4.8.** Rangkaian Unit Elektro Koagulasi

#### SPESIFIKASI ALAT :

Pada program ini dilakukan rancang bangun alat yang terdiri dari bak umpan (40 liter), bak proses (300 liter), dan bak filtrasi (30 liter).

Jenis elektroda anoda-katoda yang dipilih adalah Aluminium (AL) dan Besi (Fe) dan Stainless Steel yang berdimensi 25 cm x 50 cm sebanyak 4 pasang dengan jarak 2,5 cm. Tolok ukur keberhasilan program ini adalah

dihasilkan baku mutu air **limbah industri golongan I** (PERDA 10 tahun 2004).

**Keuntungan Elektrokoagulasi Flotasi :**

1. Penghematan biaya operasi pengolahan sebesar 18,46% yang dihitung dari perbandingan biaya koagulan-flokulan dengan biaya penyusutan plat anoda Al dan konsumsi listrik.
2. Penghematan biaya pada penanganan limbah padat yaitu sebesar 96,5%, penghematan ini dihitung dari perbandingan material yang masuk pada proses pengolahan sistem koagulasi-flokulasi dengan sistem elektrokoagulasi.
3. Penurunan luas lahan pengolahan limbah
4. Keterpaparan zat pencemar dan bahan koagulan terhadap pekerja sangat rendah.

# **BAB V**

## **KESIMPULAN DAN SARAN**

### **5.1 Kesimpulan**

Untuk melestarikan lingkungan hidup agar tetap bermanfaat bagi hidup dan kehidupan manusia serta makhluk hidup lainnya perlu dilakukan pengendalian terhadap pembuangan limbah cair ke lingkungan; Kegiatan industri mempunyai potensi menimbulkan pencemaran lingkungan hidup, oleh karena itu perlu dilakukan pengendalian terhadap pembuangan limbah cair sesuai dengan teknologi bersih (*green technology*).

Oleh sebab itu dilakukan optimalisasi proses produksi dengan teknologi *eco-electroplating* (formulasi bahan dan waktu pelapisan) dengan rancang bangun mesin *barrel plating* untuk memaksimalkan hasil produksi dan meminimalkan penggunaan larutan. Dan proses pengolahan limbah cair proses *electroplating* dengan proses elektrokoagulasi sehingga mampu mengurangi beban pencemaran lingkungan.

### **5.1 Saran**

Teknologi eco-elektroplating ini perlu disebar luaskan ke masyarakat sehingga industry kecil dapat memanfaatkannya

## DAFTAR PUSTAKA

- Adany, Fildzah. 2017. Proses Pengolahan Air Limbah Secara Fisika, Kimia dan Biologi. Jurusan Kimia Fakultas Ilmu Pengetahuan Alam, Institut Teknologi Sepuluh Nopember.
- Ana L. Torres-Sánchez, Sandra J. López-Cervera, Catalina de la Rosa, María Maldonado-Vega, María Maldonado-Santoyo, Juan M. Peralta-Hernández, 2014. “*Electrocoagulation Process Coupled with Advance Oxidation Techniques to Treatment of Dairy Industry Wastewater*”. Fraccionamiento Industrial Delta. León, 37545, Guanajuato, México.
- Aji Prasetyaningrum, Bakti Jos, Yudhy Dharmawan., “*The influence of electrode type on electrocoagulation process for removal of chromium (VI) metal in plating industrial wastewate*”., IOP Conf. Series: Journal of Physics: Conf. Series 1025 (2018) 012126 doi :10.1088/1742-6596/1025/1/012126.
- Aji Prasetyaningrum, Yudhy Dharmawan, “*Aplikasi Teknologi Elektrokoagulasi Pada Pengolahan Limbah Industri Elektroplating Sebagai Upaya Menghasilkan Produksi Kerajinan Logam Berbasis Green Technolog*”. Jurnal Riptek Vol. 12 , No. 1 , Tahun 2018, Hal. 37-44
- Beyazit, Nevzat. 2014. Copper(II),Chromium(VI) and Nickel (II) Removal from Metal Plating Effluent by Electrocoagulation. Department of Environmental Engineering, Ondokuz Mayıs University, 55139 Samsun, Turkey. Int. J. Electrochem. Sci., 9 (2014) 4315 – 4330.
- Bratby, J. 2006. Coagulation and flocculation in water and wastewater treatment, 2nd ed., IWA Publishing, UK.
- Carlsson, B. (1998), “An Introduction to Sedimentation Theory in Wastewater Treatment.” Systems and Control Group, Uppsala University,
- Chakchouk, N. Elloumi, C. Belaid, S. Mseddi, L. Chaari, M. Kallel. 2017. A Combined Electrocoagulation-Electrooxidation Treatment for Dairy Wastewater. Laboratory of Water, Energy and Environment, Sfax University, Higher Institute of Biotechnology of Sfax, Tunisia. Vol. 34, No. 01, pp. 109 – 117.
- Chandrasen Rajemahadik, 2017. “*Efficient Removal of Heavy Metals from Electroplating Wastewater using Electrocoagulation*”. Department of Technology, Shivaji University, Kolhapur.

- Crittenden, J.C., Trussell, R.R., Hand, D.W., Howe, K.J., Tchobanoglous, G. 2005. *Water Treatment—Principles and Design* (2nd ed.), John Wiley & Sons, USA.
- Den, Chompey, Lawrence P. Belo, Elaine G. Mission, Hirofumi Hinode, Leonila C. Abella and Pag-asa D. Gaspillo. 2016. Experimental Investigations of the Effects of Current Density during the Electrocoagulation of Bio-Treated Distillery Wastewater using Aluminum-Aluminum Electrode Pair. De La Salle University, Manila, Philippines.
- Dermentzis, K., Stergiopoulos, D., Giannakoudakis, P., Moumtzakis, A. 2016. Removal of Copper and COD from Electroplating Effluents by Photovoltaic Electrocoagulation / Electrooxidation Process, 14: 55-62.
- Dermentzis, K., A.Christoforidis, E.Valsamidou, A.Lazaridou, N.Kokkinos. 2011. Removal of Hexavalent Chromium from Electroplating Wastewater by Electrocoagulation with Iron Electrodes. *Global NEST Journal*, Vol 13, No 4, pp 412-418.
- Elabbas, S., N.Ouzzani, L.Mandi, F.Berrekhis, M.Perdicakis, S.Pontvianne, M-N. Pons, F.Lapicque, J-P Leclerc. 2015. Treatment of Highly Concentrated Tannery Wastewater Using Electrocoagulation : Influence of The Quality of Alumunium Used for the Electrode. *Journal of Hazardous Materials* 319 (2016) 69-77.
- Environmental Protection Agency, U.S. 1998. Toxicological review of Hexavalent Chromium. CAS No.18540-29-9. Washington DC.
- Francisco Ferniza-García, Araceli Amaya-Chávez, Gabriela Roa-Morales, and Carlos E.Barrera-Díaz, 2017. *“Removal of Pb, Cu, Cd, and Zn Present in Aqueous Solution Using Coupled Electrocoagulation-Phytoremediation Treatment”*. Facultadde Química, Universidad Autónoma del Estadode México, Paseo Colón, Colonia Universidad, 50120 Toluca de Lerdo, MEX, Mexico.
- Generousdi, dan Rodesri, M., 2005. “Penerapan Produksi Bersih Pada Industri Elektroplating”. *Jurnal Teknik Mesin*, ISSN 1829-8958, Vol. 2, No. 1, 2005.
- Ghernaout, Djamel, Abdulaziz Ibraheem Al-Ghonamy, Mohamed Wahib Naceur, Noureddine Ait Messaoudene, Mohamed Aichouni. 2014. Influence of operating parameters on electrocoagulation of C.I. disperse yellow 3. Department of Chemical Engineering, University of Blida, PO Box 270, Blida 09000, Algeria. *J. Electrochem. Sci. Eng.* 4(4) (2014) 271-283; doi: 10.5599/jese.2014.0065.

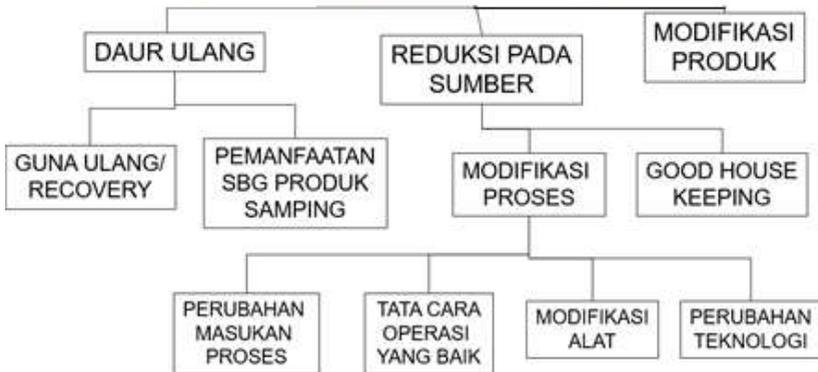
- Hamdan, Shaima S., Muftah H. El-Naas. 2013. Characterization of the Removal of Chromium (VI) from Groundwater by Electrocoagulation. JIEC-1662.
- Hanum, Farida, Rondang Tambun, M.Yusuf Ritonga, William Wardhana Kasim. 2015. Aplikasi Elektrokoagulasi dalam Pengolahan Limbah Cair Pabrik Kelapa Sawit. Jurnal Teknik Kimia USU, Vol. 4, No. 4.
- Hossain, Mid.Milon, Md.Iqbal Mahmud, Md.Shohan Parves, Haeng Muk Cho. 2013. Impact of Current Density, Operating Time and pH of Textile Wastewater Treatment by Electrocoagulation Process. Environmental Engineering Res. 2013 September,18(3) : 157-161.
- Ibrahim, Dhorgam skban, N.Sakthipriya, N.Balasubramanian. 2012. Electrocoagulation Treatment of Oily Wastewater with Sludge Analysis. Departement of Chemical Engineering AC Tech Campus, Anna University.
- Kashefi, M. Asl., Moshtaghi, M., and Hassani, A.H. 2014. Efficiency Evaluation of Electrocoagulation Process for Removal of Chromium (Heavy Metal) From Municipal and Industrial Wastewater. Indian Journal of Scientific Research. 7 (1): 1258-1268.
- Keputusan Menteri Negara Lingkungan Hidup Nomor 51 Tahun 1995 tentang Baku Mutu Limbah Cair bagi Kegiatan Industri.
- Mansouri, K., Elsaid, K., Bedoui, A., Bensalah, N. and Abdel-Wahab, A. 2011. "Application of Electrochemically Dissolved Iron in the Removal of Tannic Acid from Water," Chemical Engineering Journal, Vol. 172 , No. 2-3, pp. 970-976.
- Mara, D. (2013), Domestic Wastewater Treatment in Developing Countries, Routledge,
- Marriaga, Cabrales Nilson, Fiderman Machuca-Martínez. 2014. Fundamentals of Electrocoagulation. GAOX Group, Chemical Engineering School, Universidad del Valle. Calle 13 No 100-00, Colombia.
- Mikko. V., 2012. Electrocoagulation in the treatment of industrial waters and wastewaters. Espoo 2012 VTT Science 19.VTT Technical Research Centre of Finland. ISBN 978-951-38-7940-2.
- Mollah, M. Y. A., Schennach, R., Parga, J. R., and Cocke, D. L. 2001. "Electrocoagulation (EC)-Science and Applications," Journal of Hazardous Materials, Vol. 84, No. 1, , pp. 29-41.
- Mouedhen G., Feki M., Wery M.D.P., Ayedi H.F. (2008). Behavior of aluminum electrodes in electrocoagulation process. Journal of Hazardous Materials, 150, 124-135.

- Nasrullah, M., MD. Nurul Islam Siddique and A.W. Zularisam. 2014. Effect of High Current Density in Electrocoagulation Process for Sewage Treatment. *Asian Journal of Chemistry*; Vol. 26, No.14, 4281-4285
- Nurhasni, Zainus Salimin, Ita Nurifitriyani. 2013. *Pengolahan Limbah Industri Elektroplating dengan Proses Koagulasi Flokulasi*. Program Studi Kimia Fakultas Sains dan Teknologi UIN Syarif Hidayatullah Jakarta.
- Ochowiak, M., Matuszak, M., Włodarczak, S., Ancukiewicz, M., dan Krupińska, A. (2017), "The Modified Swirl Sedimentation Tanks for Water Purification." *Journal of Environmental Management*, Vol. 189, No. Supplement C, Hal. 22–28.
- Purwanto, dan Syamsul, H., 2005, "Teknologi Industri Elektroplating". Semarang : Universitas Diponegoro
- Pokhrel, Nikunj. 2017. Removal of Heavy Metals From Wastewater Using Electrocoagulation. Helsinki Metropolia University of Applied Sciences, Environment Engineering.
- Rajamahadik, Chandrasen F., S. V. Kulkarni, Dr. G. S. Kulkarni. 2013. Efficient Removal of Heavy Metals from Electroplating Wastewater using Electrocoagulation. Department of Technology, Shivaji University, Kolhapur. *International Journal of Scientific and Research Publications*, Volume 3.
- Rajamanickam, R., dan Baskaran, D. (2017), "Biodegradation of Gaseous Toluene with Mixed Microbial Consortium in a Biofilter: Steady State and Transient Operation." *Bioprocess and Biosystems Engineering*, Vol. 40, No. 12, Hal. 1801–12.
- Riffat, R. (2012), *Fundamentals of Wastewater Treatment and Engineering*, CRC Press,
- Said, Nusa Idaman. 2010. *Metoda Penghilangan Logam Berat (As, Cd, Cr, Ag, Cu, Pb, Ni dan Zn) di Dalam Air Limbah Industri*. Pusat Teknologi Lingkungan, BPPT. *Jurnal Vol 6. No. 2*.
- Saleh, A.A., 1995, "*Pelapisan Logam*", Buku Pegangan Industri Elektroplating, Balai Besar Pengembangan Industri Logam dan Mesin, Bandung.
- Samer, M. (2015), "Biological and Chemical Wastewater Treatment Processes." *Dalam Wastewater Treatment Engineering*, , diedit oleh Mohamed Samer, Ch. 01InTech, Rijeka.
- Soeprapto., 1994, "Teknik Pelapisan", FPTK IKIP. Yogyakarta, Hal : 50-51
- Srivastava, N.K., dan Majumder, C.B. (2008), "Novel Biofiltration Methods for the Treatment of Heavy Metals from Industrial Wastewater." *Journal of Hazardous Materials*, Vol. 151, No. 1, Hal. 1–8.

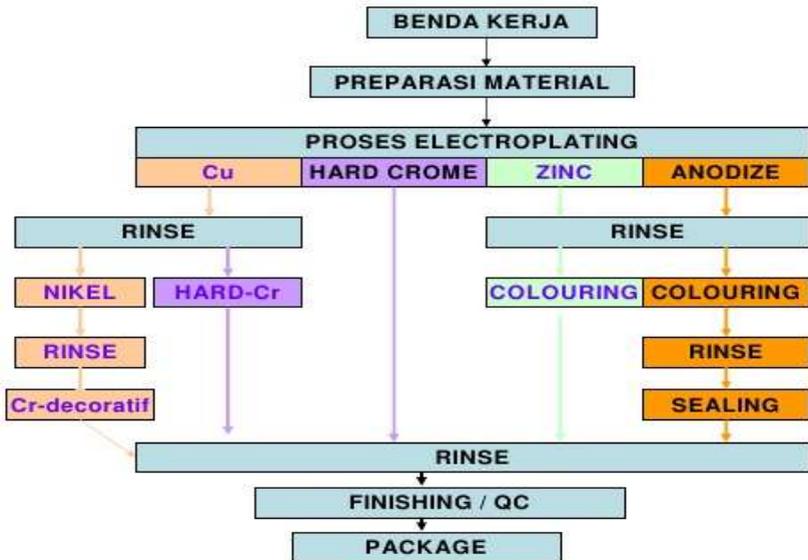
- Un, Umran Tezcan, Sadettin Eren Ocal. 2015. Removal of Heavy Metals (Cd, Cu, Ni) by Electrocoagulation. *International Journal of Environmental Science and Development*, Vol. 6, No. 6.
- Utami, Budi, Suryadi Budi Utomo, Esti Utami. 2011. *Penggunaan Metode Elektrokoagulasi Pada Penurunan Kadar Logam Berat Cu dalam Air Limbah Pabrik Tekstil*. ISBN : 978-979-1533-85-0.
- Vogel. 1990. *Textbook of Macro and Semimicro Qualitative Inorganic Analysis*. Longman Group Limited, London.
- Zongo, Inoussa, Jean Pierre Leclerc, Hama Amadou Maiga. 2009. Removal of Hexavalent Chromium from Industrial Wastewater by Electrocoagulation : A Comprehensive Comparison of Aluminium and Iron Electrodes. *Separation and separation and purification technology* 66 (2009) 159-166

# LAMPIRAN

## SKEMA GREEN TECHNOLOGI



## SKEMA PROSES ELECTROPLATING



**LAMPIRAN I**  
**PERATURAN MENTERI LINGKUNGAN HIDUP**  
**REPUBLIK INDONESIA**  
**NOMOR 5 TAHUN 2014**  
**TENTANG**  
**BAKU MUTU AIR LIMBAH**

**BAKU MUTU AIR LIMBAH BAGI USAHA DAN/ATAU KEGIATAN**  
**INDUSTRI PELAPISAN LOGAM DAN GALVANIS**

Parameter	Kadar Paling Tinggi Pelapisan Logam (mg/L)	Beban Paling Tinggi Pelapisan Logam (gr/m <sup>2</sup> )	Kadar Paling Tinggi Galvanisasi (mg/L)	Beban Paling Tinggi Galvanisasi (gr/m <sup>2</sup> )
TSS	20	0,4	20	0,04
Cu	0,5	0,01	0,5	0,001
Zn	1,0	0,02	1,0	0,0005
Cr <sup>6+</sup>	0,1	0,002	-	-
Cr	0,5	0,01	-	-
Cd	0,05	0,001	0,05	0,0001
Pb	0,1	0,002	0,1	0,0002
Ni	1,0	0,02	1,0	0,002
CN	0,2	0,004	0,2	0,0004
Ag	0,5	0,01	0,5	0,001
pH	6 - 9		6 - 9	
Kuantitas air limbah paling tinggi	20 L per m <sup>2</sup> produk pelapisan logam		2 L per m <sup>2</sup> produk pelapisan logam	

Catatan:

Penghitungan Beban Paling Tinggi atau Beban Maksimum (BM):

$$BM = \text{Kadar Paling Tinggi (mg/L)} \times \text{Kuantitas Air Limbah Paling Tinggi (L/m}^2\text{)/1000}$$

**MENTERI LINGKUNGAN HIDUP**  
**REPUBLIK INDONESIA,**

**BALTHASAR KAMBUAYA**

**Dibiayai oleh :  
Program PPPUD RISTEK DIKTI 2019**

ISBN : 978-602-5788-26-0



9 786025 788260