BAB IV
METODE PERENCANAAN

4.1 Waktu dan Lokasi Penelitian

Industri elektroplating yang digunakan sebagai lokasi perencanaan adalah kegiatan elektroplating X yang terletak di Dusun Bodon, Kelurahan Jagalan, Kecamatan Banguntapan, Kabupaten Bantul, Daerah Istimewa Yogyakarta. Waktu penelitian dilakukan dari tanggal 4 April 2019 sampai 3 Juni 2019.

4.2 Jenis Penelitian

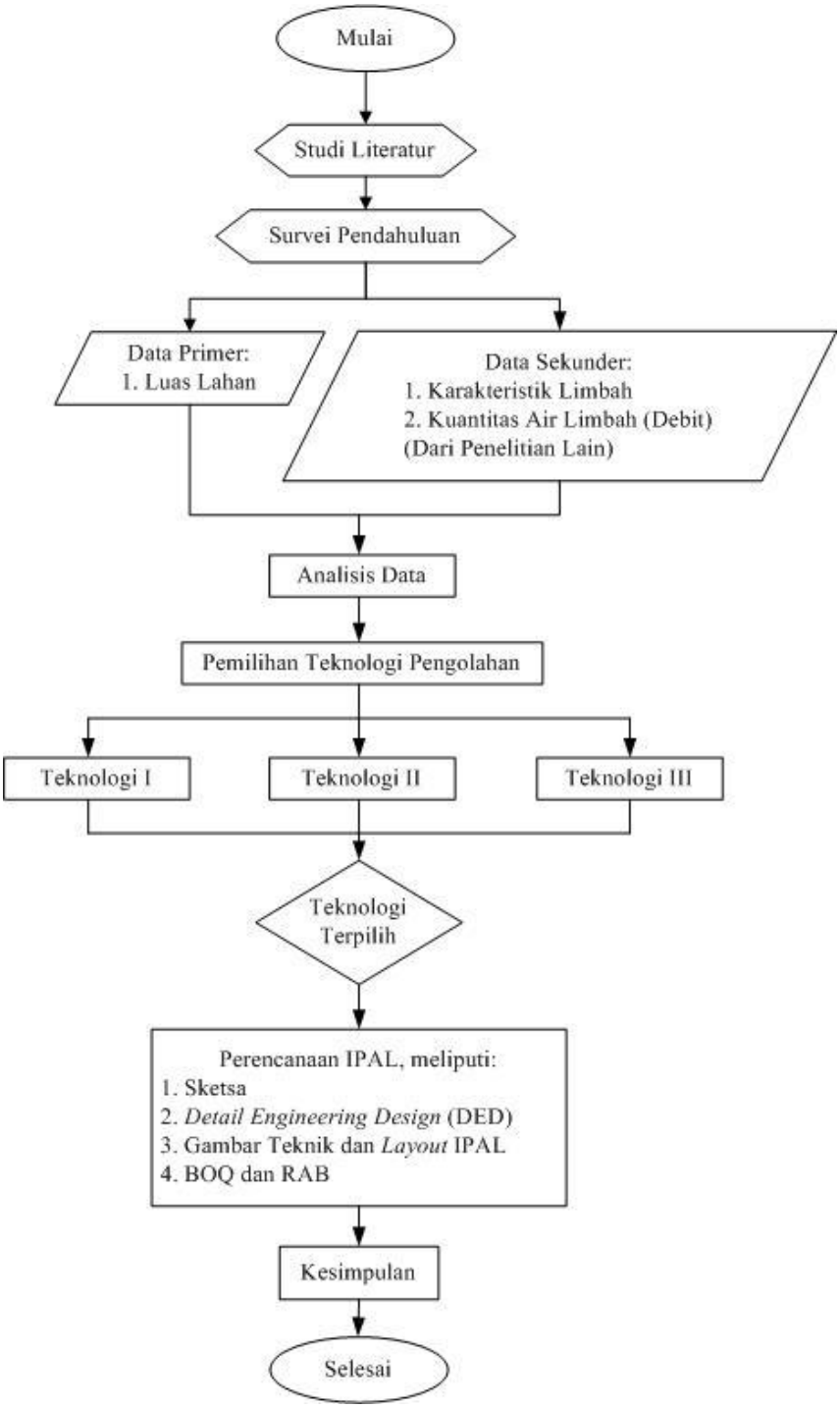
Penelitian ini merupakan jenis penelitian perencanaan. Peneliti melakukan perencanaan Instalasi Pengolahan Air Limbah (IPAL) dimana air limbah yang akan digunakan untuk perencanaan berasal dari kegiatan elektroplating X.

4.3 Objek Penelitian

Penelitian ini dilakukan di kegiatan elektroplating X. Objek pada penelitian ini akan mengarah pada perencanaan Instalasi Pengolahan Air Limbah (IPAL) dalam skala industri kecil. Air limbah yang akan digunakan untuk perencanaan berasal dari kegiatan elektroplating X.

4.4 Metode Penelitian

Dalam melaksanakan perencanaan IPAL pada kegiatan elektroplating X terdapat beberapa tahapan terstruktur dan sistematis yang perlu dikakukan agar tujuan penelitian tercapai. Tahapan tersebut ditunjukkan dalam kerangka penelitian pada Gambar 4.1. Terdapat beberapa tahapan dalam melaksanakan perencanaan Instalasi Pengolahan Air Limbah (IPAL). Metode perencanaan ini menggunakan data kuantitatif yaitu data yang terukur.

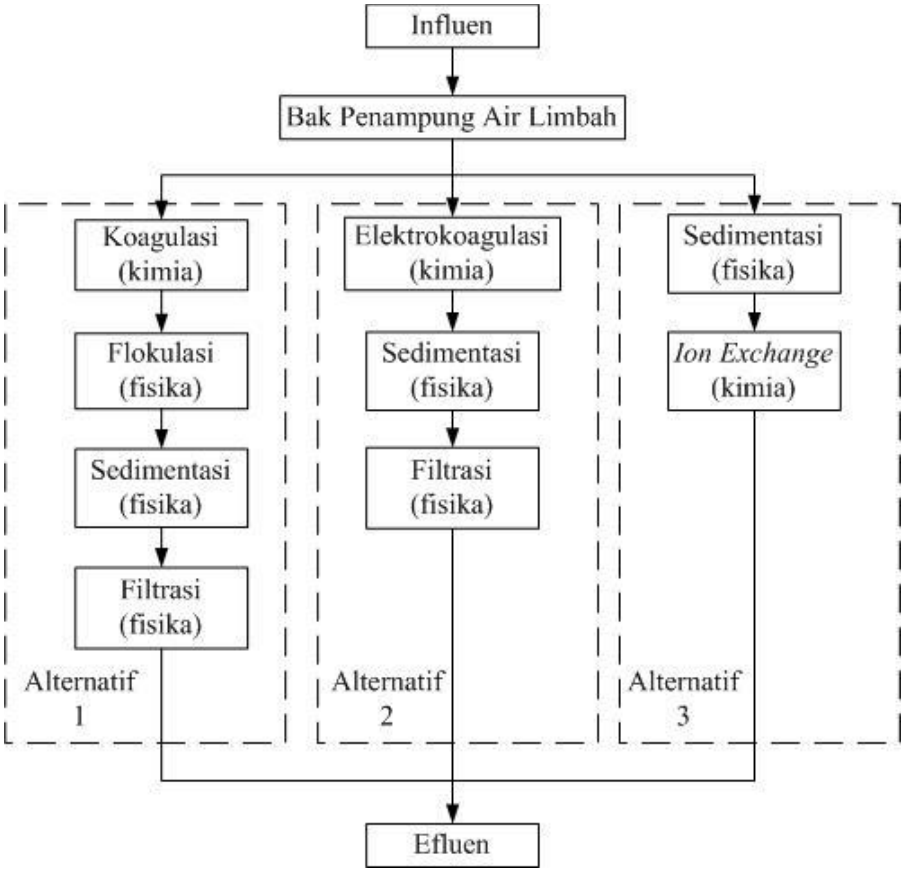


Gambar 4. 1 Diagram Alir Tahapan Penelitian

4.5 Pengelolaan Limbah

Teknologi pengelolaan air limbah dipilih berdasarkan beberapa pertimbangan. Karakteristik air limbah, ketersediaan lahan, biaya serta proses

operasi merupakan pertimbangan yang digunakan untuk menentukan alternatif teknologi pengolahan air limbah. Alternatif teknologi pengolahan yang akan digunakan dalam penelitian ini ditunjukkan pada Gambar 4.2.



Gambar 4. 2 Diagram Alir Alternatif Teknologi Pengolahan

4.6 Teknologi Pengelolaan Limbah

Setiap teknologi memiliki perbedaannya masing-masing. Perbedaan tersebut ditunjukkan dengan parameter efisiensi, kelebihan dan kekurangan. Tabel 4.1 menunjukkan perbandingan dari tiga alternatif teknologi pengolahan yang akan digunakan dalam penelitian ini.

Tabel 4. 1 Perbandingan Teknologi Pengolahan

No	Parameter	Koagulasi – Flokulasi	Elektrokoagulasi	*Ion Exchange*
1	Efiseiensi	- Cu(II) menggunakan *ferric sulfate*: 99,6 % (Li et al., 2003) - Koagulan alumunium sulfat dan *ferric chloride*: a. Cu^{-}: 99,9% b. Cr^{-}: 99,9% c. Ni^{-}: 99,9% (Akbal & Camci, 2010) - Koagulan *ferric chloride*: a. Cr(III): 52,6% b. Cr(VI): 25,8%	- Menggunakan elektroda Fe: a. Cr(III): 100% b. Cr(VI): 100% (Verma et al., 2013) - Menggunakan elektroda Al: a. Ni(II): >97% b. Cu(II): >98% c. Cr(VI): >80% d. Cr(III): 99,8% e. Zn(II): >97% (Konstantinos Dermentzis, Christoforidis, & Valsamidou, 2011) - Menggunakan anoda Fe dan katoda Al: a. Ni: 100% b. Cu: 100% c. Cr: 100% (Akbal & Camcı, 2011) - Menggunakan elektroda baja karbon: a. Au: 99,5% b. Ag: 99,5% (Martinez et al., 2012) - Menggunakan elektroda Fe untuk Cd pada arus: a. AC: 98.1% b. DC: 97.3% (Vasudevan & Lakshmi, 2012) - Menggunakan anoda Al dan katoda *stainless*	- Menggunakan resin *Amberlite* IR-120 & *Dowex* 2-X4: a. Cr(VI): 100% b. Cr(III): 100% c. Total Cr: 100% (Sapari et al., 1996) - Menggunakan resin zeolit: a. Cr(III): 90% b. Ni(II): 90% c. Cu(II): 90% (Alvarez-Ayuso, Garcia-Sanchez, & Querol, 2003)

No	Parameter	Koagulasi – Flokulasi	Elektrokoagulasi	*Ion Exchange*
			steel: Pb: 95% (Pociecha & Lestan, 2010) - COD menggunakan anoda-katoda Fe-Al, Fe-Fe, Al-Al dan Al-Fe: 96,3% (Chou et al., 2010) - TSS menggunakan elektroda *stainless steel*: 90% (Phalakornkule et al., 2010) - TDS menggunakan elektroda Fe; 68,5% (Saleem et al., 2011)	
2	Kelebihan	1. Lumpur yang dihasilkan memiliki karakteristik pengendapan dan pengeringan yang baik (Fu & Wang, 2011) 2. Baik untuk menghilangkan zat warna (Ã, Yue, Wang, & Zhou, 2007) 3. Layak secara ekonomi (Aboulhassan, Souabi, Yaacoubi, & Baudu, 2006) 4. Dapat mereduksi COD (Uygur, 1997)	1. Tidak perlu penambahan bahan kimia 2. Spesi yang dapat dihilangkan lebih banyak dibanding koagulasi kimia 3. Lumpur yang dihasilkan lebih sedikit sehingga biaya pembuangan lumpur lebih rendah 4. Lumpur dapat dimanfaatkan sebagai bahan aditif tanah 5. Proses pengolahannya mudah 6. Menurunkan kemungkinan terbentukanya pencemar sekunder (Khandegar & Saroha, 2013)	1. Tidak menghasilkan lumpur (*sludge*) 2. Waktu yang diperlukan untuk pengolahan lebih cepat 3. Penggunaan energinya efisien (Owlad, Aroua, Daud, & Baroutian, 2009) 4. Pemeliharaannya mudah (Owlad et al., 2009) 5. Resin dapat digunakan kembali sehingga biaya operasional lebih rendah (Sumada, 2006)

No	Parameter	Koagulasi – Flokulasi	Elektrokoagulasi	*Ion Exchange*
3	Kekurangan	1. Menghasilkan lumpur (*sludge*) (Ayoub, Semerjian, Acra, Fadel, & Koopman, 2001) 2. Melibatkan konsumsi bahan kimia dan meningkatkan pembentukan volume lumpur (Fu & Wang, 2011) 3. Penggunaan bahan kimia meningkatkan biaya operasional (Agustiono, Chan, Lo, & Babel, 2006)	1. Anoda perlu diganti secara periodik 2. Kemungkinan terbentuknya *chlorinated organic compound* beracun dari limbah yang mengandung klorid 3. Penggunaan untuk limbah dengan kandungan zat terlalu rendah terbatas karena perlu minimum konduktivitas larutan 4. Elektroda perlu dibersihakan secara berkala untuk menghindari resistensi terhadap aliran arus listrik 5. Biaya operasional dapat meningkat apabila biaya listrik tinggi (Mollah, Schennach, Parga, & Cocke, 2001)	1. Tidak semua resin *ion exchange* cocok untuk logam berat (Ahmed, Chughtai, & Keane, 1998) 2. Perlu modal yang lebih besar (Ahmed et al., 1998) 3. Perlu pengolahan awal untuk menghilangakan padatan tersuspensi (Agustiono et al., 2006) 4. Regenerasi resin dapat menyebabkan pencemar sekunder yang berbahaya (Fu & Wang, 2011) 5. Tidak dapat digunakan untuk skala besar apabila jumlah air limbah banyak dengan konsentrasi logam berat yang sedikit (Fu & Wang, 2011)

Berdasarkan Tabel 4.1, teknologi koagulasi-flokulasi dan *ion exchange* memiliki lebih sedikit spesi pencemar yang dapat dihilangkan daripada teknologi elektrokoagulasi. Teknologi elektrokoagulasi dan *ion exchange* tidak memerlukan penambahan bahan kimia, berbeda dengan koagulasi-flokulasi yang menggunakan bahan kimia. Lumpur yang dihasilkan dari proses elektrokoagulasi lebih sedikit

daripada proses koagulasi-flokulasi, sedangkan teknologi *ion exchange* tidak menghasilkan lumpur.

4.7 Pemilihan Teknologi Pengelolaan Limbah

Metode yang digunakan untuk menentukan teknologi pengolahan air limbah elektroplating yang akan didesain adalah metode skoring. Metode skoring dilakukan dengan cara memberikan nilai pada setiap teknologi pengolahan berdasarkan kriteria seleksi yang digunakan untuk perbandingan. Kriteria seleksi yang digunakan untuk pembanding diberi faktor pembobotan yang berjumlah 100% (TTPS, 2010). Kriteria utama pemilihan IPAL berdasarkan Tim Teknis Pembangunan Sanitasi (TTPS) ditunjukkan pada Tabel 4.2.

Tabel 4. 2 Kriteria Utama Pemilihan IPAL

Kriteria Pemilihan	**Penjelasan**
1. Perencanaan Kota	
a. Luas area diperlukan	Ketersediaan lahan IPAL menjadi sangat penting, karena bagaimanapun harus dekat dengan pelanggan yang dilayani.
b. Gangguan bau dan bising	Timbulnya bau tidak sedap dan kebisingan haruslah diupayakan seminimal mungkin.
2. Desain dan Konstruksi	
a. Pembangunan yang bertahap	Pembangunan secara bertahap akan memperbaiki kualitas efluen dan menjaga kapasitas sesuai fungsi waktu.
b. Struktur dan peralatan mekanik yang mudah	Sangat menguntungkan apabila kontraktor lokal dapat membangun IPAL dengan kepakarannya sendiri. Demikian juga dengan ketersediaan peralatan lokal yang ada untuk pekerjaan konstruksi dan perawatan.
c. Kebutuhan alat listrik dan mekanik	Diharapkan penggunaan peralatan listrik dan mekanik minimal, guna menghemat biaya untuk keperluan energi.

Kriteria Pemilihan	Penjelasan
3. Biaya	
a. Biaya investasi	Biaya investasi rendah meningkatkan kelayakan proyek serta kemudahan mendapatkan pinjaman.
b. Biaya operasi	Biaya operasi harus seminimal mungkin. Faktor biaya meliputi: energi, perawatan, bahan kimia dan pembuangan. Faktor pendapatan bisa berupa daur ulang dari efluen, dihasilkannya gas dan lumpur.
4. Operasi dan Perawatan	
a. Kemudahan pengoperasian	Diharapkan pengoperasian lebih mudah. Karena itu, kebutuhan pelatihan untuk operator haruslah diupayakan minimal.
b. Kemudahan pemeliharaan	Diharapkan perawatan juga minimal; meski tidak ada pengoperasian IPAL yang tanpa perawatan. Kebutuhan pelatihan untuk operator haruslah minimal.
5. Kinerja	
a. Sensitivitas terhadap perubahan debit influen	Karena adanya beban kejut hidrolis dan kualitas influen, upayakan gangguan terhadap IPAL seminimal mungkin.
b. Kesesuaian dengan baku mutu	Teknologi terpilih haruslah mampu mengeluarkan efluen sesuai dengan baku mutu.
c. Kualitas Lumpur yang dihasilkan	Pengelolaan lumpur haruslah aman untuk kesehatan lingkungan masyarakat.
d. Reabilitas kinerja	Proses yang sehat lebih disukai.

Sumber: Tim Teknis Pembangunan Sanitasi

Berdasarkan Tim Teknis Pembangunan Sanitasi, penilaian dilakukan dengan memberi nilai antara 1 sampai 5 pada setiap teknologi pengolahan kemudian dikalikan dengan persen setiap kriteria seleksi. Teknologi pengolahan yang memiliki skor total tertinggi ditetapkan sebagai teknologi terpilih. Berikut ini adalah keterangan penilaian yang diberikan:

a. 1 = Sangat Buruk
b. 2 = Buruk
c. 3 = Sedang
d. 4 = Baik
e. 5 = Sangat Baik

Tiga teknologi yang telah dipilih dibandingkan berdasarkan kriteria yang telah ditentukan. Studi literatur dilakukan agar dapat mentukan nilai pada setiap kriteria dari ketiga teknologi yang diplih. Metode skoring untuk menentukan teknologi pengolahan air limbah yang akan direncanakan ditunjukkan pada Tabel 4.3.

Tabel 4. 3 Metode Skoring

Kriteria	**Pem-bobotan**	**Teknologi Pengolahan Air Limbah**			**Referensi**
		Alternatif 1 (Koagulasi-Flokulasi)	**Alternatif 2 (Elektro-koagulasi)**	**Alternatif 3 (*Ion Exchange*)**	
Perencanaan					
Luas area diperlukan	10%	3*	5**	4***	*(Suarez, Lema, & Omil, 2009) **(Smoczyńskia et al., 2017) ***(Gaikwad, Sapkal, & Sapkal, 2010)
Gangguan bau dan bising	5%	4*	5**	3***	*(Suarez et al., 2009) **(Mollah et al., 2001) ***(Ikai, 1954)
Desain dan Konstruksi					
Pembangunan yang bertahap	5%	2*	4**	3***	*(Suarez et al., 2009) **(Mollah et al., 2001) ***(Gaikwad et al., 2010)
Struktur dan peralatan mekanik yang mudah	5%	4*	5**	2***	*(Suarez et al., 2009) **(Mollah et al., 2001) ***(Gaikwad et al., 2010)

Kriteria	Pem-bobotan	Teknologi Pengolahan Air Limbah			Referensi
		Alternatif 1 (Koagulasi-Flokulasi)	**Alternatif 2 (Elektro-koagulasi)**	**Alternatif 3 (*Ion Exchange*)**	
Kebutuhan alat listrik dan mekanik	10%	4*	3**	3***	*(Suarez et al., 2009) **(Mollah et al., 2001) ***(Gaikwad et al., 2010)
Biaya					
Biaya investasi	10%	3*	4**	3***	*(Guo, Englehardt, & Wu, 2014) **(Mollah et al., 2001) ***(Ahmed et al., 1998)
Biaya operasi	10%	4*	**4****	4***	*(Agustiono et al., 2006) **(Mollah et al., 2001) ***(Sumada, 2006)
Operasional					
Kemudahan Pengoperasian	10%	4*	4**	2***	*(Fu & Wang, 2011) **(Mollah et al., 2001) ***(Eom, Lee, Kim, & Lee, 2005)
Kemudahan Pemeliharaan	10%	**4***	3**	3***	*(EPA, 2002) **(Mollah et al., 2001) ***(Fu & Wang, 2011)
Kinerja					
Sensitivitas terhadahap perubahan debit influen	5%	3*	5**	3***	*(EPA, 2002) **(Krystynik & Tito, 2018) ***(Fu & Wang, 2011)
Kesesuaian dengan baku mutu	10%	3*	5**	4***	*(Khandegar & Saroha, 2013) **(Khandegar & Saroha, 2013) ***(Ahmed et al., 1998)

Kriteria	Pem-bobotan	Teknologi Pengolahan Air Limbah			Referensi
		Alternatif 1 (Koagulasi-Flokulasi)	**Alternatif 2 (Elektro-koagulasi)**	**Alternatif 3 (*Ion Exchange*)**	
Kualitas Lumpur yang dihasilkan	5%	2*	4**	5***	*(Ayoub et al., 2001) **(Khandegar & Saroha, 2013) ***(Owlad et al., 2009)
Reabilitas kinerja	5%	3*	5**	4***	*(C. S. Lee, Robinson, & Chong, 2014) **(Khandegar & Saroha, 2013) ***(Ahmed et al., 1998)
Total	**100%**	**3.4**	**4.2**	**3.3**	

Teknologi yang terpilih sebagai teknologi yang akan direncanakan pada penelitian ini adalah elektrokoagulasi. Berdasarkan perencanaannya, elektrokoagulasi memerlukan luas lahan yang sedikit karena peralatan yang digunakan kecil. Sementara itu, koagulasi-flokulasi dan *ion exchange* memerlukan lahan yang lebih besar karena perlu banyak bak. Berbeda dengan koagulasi kimia, elektrokoagulasi tidak menggunakan tambahan bahan kimia dan mikroorganisme sehingga tidak menimbulkan bau. Alat-alat yang digunakan dalam teknologi elektrokoagualasi juga tidak berpotensi menimbulkan kebisingan.

Berdasarkan desain dan konstruksi, elektrokoagulasi memiliki struktur desan yang sederhana sehingga tahapan pembangunannya mudah. Berbeda dengan *ion exchange* yang memerlukan banyak bak, rangkaian pipa dan pompa. Struktur dan peralatan mekanik yang dibutuhkan oleh teknologi elektokoagulasi sederhana. Teknologi elektrokoagulasi hanya perlu catu daya arus searah (DC) untuk pengoperasiannya. Berbeda dengan *ion exchange* yang perlu beberapa pompa dan saklar otomatis.

Berdasarkan biaya, elektrokoagulasi merupakan teknologi yang ekonomis. Peralatan yang digunakan sederhana dan banyak tersedia di pasaran sehingga dapat menekan biaya investasi. Berbeda dengan koagulasi-flokulasi yang perlu

biaya konstruksi dan tukang. Teknologi *ion exchange* juga perlu modal yang lebih besar untuk biaya investasi. Sementara itu, biaya operasi teknologi elektrokoagulasi meliputi biaya listrik dan penggantian elektroda. Biaya operasi *ion exchange* dapat lebih rendah karena resin dapat dipakai berkali-kali, namun pencucian resin memerlukan bahan kimia sehingga terdapat tambahan biaya.

Pengoperasian teknologi elektrokoagulasi relatif mudah karena tidak ada bagian yang bergerak. Sementara itu, pengoperasian teknologi *ion exchange* lebih rumit karena resin perlu pengolahan awal serta perlu menjaga agar laju alir air tetap. *Ion exchange* memerlukan pemeliharaan berupa regenerasi resin sedangkan elektrokoagulasi perlu penggantian elektroda secara berkala. Pemeliharaan koagulasi-flokulasi relatif lebih mudah karena hanya perlu pengecekan pompa dan motor.

Teknologi elektrokoagulasi memiliki kinerja yang baik. Perubahan debit air limbah tidak mempengaruhi performa dari elektrokoagulasi. Berbeda dengan koagulasi-flokulasi yang perubahan debitnya harus perlahan dan *ion exchange* yang tidak dapat digunakan untuk skala besar. Elektrokoagulasi memiliki efisiensi penghilangan pencemar yang tinggi dan spesi yang dapat dihilangkan lebih banyak daripada koagulasi kimia. Oleh karena itu, elektrokoagulasi memiliki kesesuaian dengan baku butu yang sangat baik. *Ion exchange* juga memiliki efisiensi penghilangan yang tinggi, namun tidak semua resin cocok untuk menghilangkan logam berat.

Pengolahan air limbah dengan elektrokoagulasi menghasilkan lebih sedikit lumpur dibandingkan dengan koagulasi kimia. Lumpur yang dihasilkan juga dapat dimanfaatkan sebagai bahan aditif tanah. Sementara itu, pengoalahan air limbah dengan *ion exchange* tidak mengahasilkan lumpur. Elektrokoagulasi memiliki reabilitas kinerja yang sangat baik karena memiliki efisisensi penghilangan yang tinggi serta dapat menghilangkan banyak spesi. Berbeda dengan koagulasi-flokulasi, reabilitas kinerja dapat ditingkatkan apabila diberi penambahan flokulan.

Elektroda yang digunakan dalam proses elektrokoagulasi dipilih berdasarkan Tabel 3.5. Jenis elektroda untuk setiap parameter pencemar secara ringkas berdasarkan referensi ditunjukkan pada Tabel 4.4.

Tabel 4. 4 Jenis Elektroda dan Efisensi Removal untuk Setiap Parameter

Parameter	**Jenis Elektroda (Anoda-Katoda)**						
	Fe-Fe	**Al-Al**	**Fe-Al**	**Al-Fe**	**Baja Karbon**	**Al-St**	**St-St**
TDS	68,50%						
TSS							90%
Cd	97,30%						
Cu		>98%	100%	100%			
Cr			100%	100%			
Zn		>97%					
Pb		99%				95%	
Ni		>97%	100%	100%			
COD	96,30%	96.30%	96,30%	96,30%			
Ag					99,5%		
Au					99,5%		

Berdasarkan Tabel 4.4, elektroda yang paling sesuai adalah gabungan elektroda Fe-Al. Elektroda Fe-Al dapat digunakan untuk menurunkan konsentrasi Cu, Cr, Ni dan COD. Konsentrasi TDS, Cd dan Pb juga dapat diturunkan meskipun efisiensinya tidak sebesar apabila menggunakan elektroda yang tertera dalam Tabel 4.4. Begitupun dengan TSS dan Pb, konsentrasinya juga dapat diturunkan dengan elektroda Fe-Al karena elektroda yang optimum, *stainless steel*, juga mengandung besi.

"Halaman ini sengaja dikosongkan"