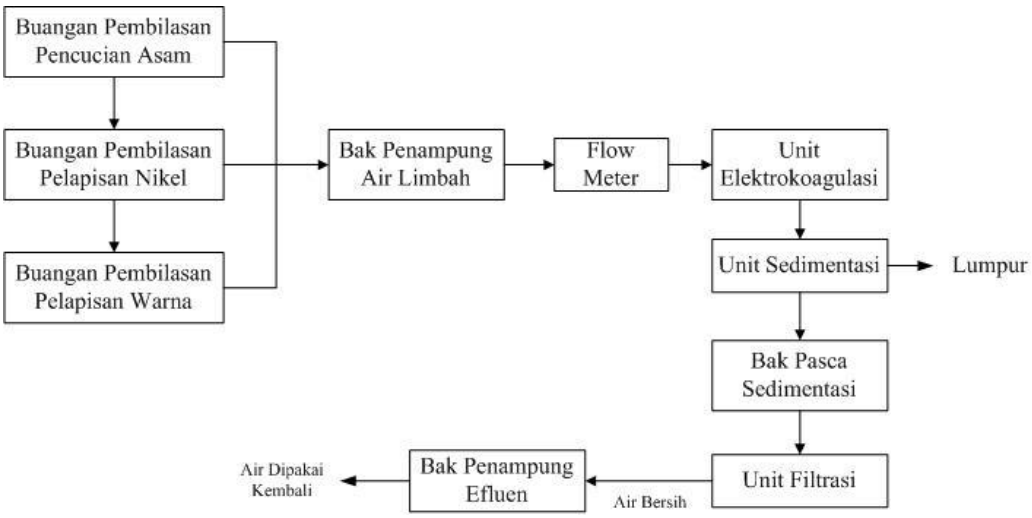
BAB V
HASIL DAN PEMBAHASAN

5.1 Sistem IPAL

Sistem Instalasi Pengolahan Air Limbah (IPAL) yang akan didesain dalam perencanaan ini adalah alternatif pilihan teknologi II, seperti yang telah disebutkan dalam subbab 4.6. Alternatif pilihan teknologi II adalah elektrokoagulasi yang diikuti dengan unit sedimentasi dan filtrasi. Diagram alir sistem IPAL yang akan direncanakan ditunjukkan pada Gambar 5.1.



Gambar 5. 1 Diagram Alir Perencanaan Sistem IPAL Kegiatan Elektroplating X

Air limbah dari buangan proses pembilasan akan dikumpulkan pada bak penampung. Setelah itu, air limbah akan melalui proses elektrokoagulasi sebagai pengolahan untama untuk menghilangkan pencemar yang didominasi oleh logam. Selanjutnya air limbah akan diendapkan pada unit sedimentasi. Hal ini dikarenakan proses elektrokoagulasi menghasilkan lumpur. Air limbah kemudian memasuki proses terakhir pada unit filtrasi untuk menghilangkan pencemar yang masih terdapat dalam air limbah.

Rangkaian unit IPAL ini derencanakan diletakkan pada lahan kosong yang yang ada pada kegiatan elektroplating X. Lahan yang tersedia berukuran 9 m x 5,28 m dan 2,4 x 2,49 m. Total luas lahan yang tersedia adalah 53,5 m^2.

5.2 Karakteristik Air Limbah

Data karakteristik air limbah yang akan diolah dalam perencanaan ini mengacu dari penelitian yang dilakukan oleh Dinda Noviyanti yang berjudul Studi Karakteristik Limbah Cair dari Kegiatan Elektroplating Di Banguntapan, Bantul, D.I. Yogyakarta (Studi Kasus IKM X dan Y). Data yang digunakan hanya data karakteristik limbah kegiatan elektroplating X karena perencanaan hanya dilakukan pada kegiatan elektroplating X. Karakteristik air limbah yang telah diuji akan dibandingkan dengan Peraturan Daerah (Perda) Daerah Istimewa Yogyakarta (DIY) Nomor 7 Tahun 2016 tentang Baku Mutu Air Limbah dan Peraturan Gubernur (Pergub) tentang Baku Mutu Air di Provinsi DIY untuk air kelas 2. Karakteristik air limbah kegiatan elektropalting X ditunjukkan pada Tabel 5.1.

Tabel 5. 1 Perbandingan Konsentrasi Air Limbah X dengan Baku Mutu

Parameter	**Konsentrasi (mg/L)**	**Baku Mutu**	
		Perda DIY 7/2016	**Pergub DIY 20/2008**
TDS	11240	2000	1000
TSS	494	20	50
pH	1	6-9	6-8.5
Suhu	29°C	±3	±3
Cd	0.0206	0.05	0.01
Cu	2.221037	0.5	0.02
Cr	0.175136	0.5	N/A
Zn	6.607086	1	N/A
Pb	2.637882	0.1	0.03
Ni	52.11	1	N/A
COD	277.5	N/A	25
pH Alkalinitas	8	N/A	N/A
Ag	N/A	0.5	N/A
Cr+6	N/A	0.1	0.05

Berdasarkan Tabel 5.1, semua parameter fisika dan kimia kecuali Cr melebihi standar baku mutu. Parameter fisika dan kimia tersebut akan diturunkan konsentrasinya menggunakan pengolahan kimia dan fisika. Teknologi pengolahan air limbah yang akan direncanakan adalah elektrokoagulasi, sedimentasi dan filtrasi.

5.3 Kuantitas Air Limbah

Kuantitas air limbah yang digunakan dalam perencanaan ini mengacu pada penelitian yang dilakukan oleh Fadhilah Prabarani yang berjudul Kajian Minimisasi Limbah Cair pada Industri Elektroplating (Studi Kasus Industri Kecil X dan Y di Yogyakarta). Data yang digunakan hanya data kuantitas air limbah kegiatan elektroplating X karena perencanaan hanya dilakukan pada kegiatan elektroplating X. Data kuantitas air limbah berupa rata-rata debit air limbah yang dihasilkan dalam satu hari. Debit air limbah rata-rata dari kegiatan elektroplating X ditunjukkan pada Tabel 5.2.

Tabel 5. 2 Kuantitas Air Limbah Kegiatan Elektroplating X

No	**Kegiatan**	**Debit Rata-rata**
		L/hari
1	Pembilasan Pencucian Asam	174,8
2	Pembilasan Pernekel	118,4
3	Pembilasan Perak	67,1
4	Pembilasan Emas	97,2
5	Pembilasan *Rosegold*	74,5
Total		**532**

Total rata-rata debit air limbah pada kegiatan elektroplating X adalah 538, 9 L/hari atau 0,532 m^3/hari. Perencanaan IPAL memerlukan *safety factor* atau faktor keamanan untuk menghidari dampak dari adanya fluktuasi air limbah. Kegiatan industri X membatasi jumlah aksesori yang diproduksi setiap harinya, sehingga tidak ada perbedaan jumlah produksi yang signifikan. Oleh karena itu, kenaikan air limbah yang dihasilkan juga tidak jauh berbeda dengan rata-rata air

limbah.Maka, faktor keamanan yang dipilih adalah 20% dari total debit rata-rata air limbah. Debit perencanaan adalah sebagai berikut:

Debit perencanaan = Debit rata-rata + (20% x Debit rata-rata)

= 0,532 m^3/hari + (20% x 0,532 m^3/hari)

= 0,638 m^3/hari

5.4 Beban Pengolahan

Beban pengolahan harus diketahui dalam perencanaan IPAL. Konsentrasi pencemar dalam air limbah dapat diperkecil dengan pengenceran, namun beban pengolahan tetaplah sama. Oleh karena itu, beban pengolan air limbah sangat penting dalam pengelolaan air limbah. Efluen air limbah yang dihasilkan diharapkan dapat memenuhi baku untuk air kelas 2 sesuai dengan Pergub DIY Nomor 20 Tahun 2008. Dengan begitu, efluen air limbah dapat digunakan kembali sebagai air untuk sarana rekreasi, budidaya ikan air tawar, kegiatan peternakan dan mengairi pertanaman. Beban pengolahan pada kegiatan elektroplating X ditunjukkan dalam Tabel 5.3.

Tabel 5. 3 Beban Pengolahan Air Limbah

Parameter	**Konsentrasi (mg/L)**	**Debit**	**Beban Pengolahan**	
		L/hari	**mg/hari**	**kg/hari**
TDS	11240	638	7171120	7.17112
TSS	494	638	315172	0.315172
Cd	0.0206	638	13.1428	1.314E-05
Cu	2.221037	638	1417.0216	0.001417
Cr	0.175136	638	111.73677	0.0001117
Zn	6.607086	638	4215.3209	0.0042153
Pb	2.637882	638	1682.9687	0.001683
Ni	52.11	638	33246.18	0.0332462
COD	277.5	638	177045	0.177045

Berikut ini adalah contoh perhitungan beban pengolahan TDS:

Beban Pengolahan = Konsentrasi x Debit

= 11240 mg/L x 638 L/hari

= 7171120 mg/hari = 7,12 kg/hari

Pengolahan air limbah yang pertama adalah elektroplating. Berdasarkan efisiensi penghilangan yang telah disebutkan dalam subbab 2.3, maka dapat dihitung beban pengolahan pada unit elektrokoagulasi. Beban pengolahan untuk unit elektrokoagulasi ditunjukkan pada Tabel 5.4.

Tabel 5. 4 Beban Pengolahan Unit Elektrokoagulasi

Parameter	Influen		Efisiensi	Efluen	
	Konsentrasi (mg/L)	Beban (mg/hari)		Konsentrasi (mg/L)	Beban (mg/hari)
TDS	11240	7171120	65%	3934	2509892
TSS	494	315172	80%	98.8	63034.4
Cd	0.021	13.14	97.30%	0.0006	0.355
Cu	2.221	1417.02	100%	0.0	0.0
Cr	0.175	111.74	100%	0.0	0.0
Zn	6.607	4215.32	85%	0.991	632.298
Pb	2.638	1682.97	90%	0.264	168.297
Ni	52.110	33246.18	100%	0.0	0.0
COD	277.500	177045.00	96.30%	10.268	6550.67

Berikut ini adalah contoh perhitungan beban pengolahan TDS pada unit elektrokoagulasi:

Konsentrasi efluen = Influen – (Efisiensi Penghilangan x Influen)

= 11240 mg/L – (65% x 11240 mg/L)

= 3934 mg/L

Efluen beban pengolahan = Influen – (Efisiensi Penghilangan x Influen)

= 7171120 mg/hari – (65% x 7171120 mg/hari)

= 2509892 mg/hari

Pengolahan air limbah yang kedua adalah sedimentasi. Berdasarkan efisiensi penghilangan yang telah disebutkan dalam subbab 2.4, maka dapat dihitung beban pengolahan pada unit sedimentasi. Beban pengolahan untuk unit sedimentasi ditunjukkan pada Tabel 5.5.

Tabel 5. 5 Beban Pengolahan Unit Sedimentasi

Parameter	Influen		Efisiensi	Efluen	
	Konsentrasi (mg/L)	Beban (mg/hari)		Konsentrasi (mg/L)	Beban (mg/hari)
TDS	3934	2509892	0%	3934	2509892.0
TSS	98.8	63034.4	76.10%	23.61	15065.2
Cd	0.0006	0.355	23%	0.0004	0.273
Cu	0.0	0.000	39%	0.0	0.0
Cr	0.0	0.000	83.20%	0.0	0.0
Zn	0.9911	632.298	38%	0.614	392.025
Pb	0.2638	168.297	42%	0.153	97.612
Ni	0.0	0.000	25%	0.0	0.0
COD	10.2675	6550.665	41.50%	6.006	3832.139

Berikut ini adalah contoh perhitungan beban pengolahan TSS pada unit sedimentasi:

Konsentrasi efluen = Influen – (Efisiensi Penghilangan x Influen)

= 98,8 mg/L – (76,1% x 98,8 mg/L)

= 23,61 mg/L

Efluen beban pengolahan = Influen – (Efisiensi Penghilangan x Influen)

= 63034,4 mg/hari – (76,1% x 63034,4 mg/hari)

= 15065,2 mg/hari

Pengolahan air limbah yang pertama adalah filtrasi. Berdasarkan efisiensi penghilangan yang telah disebutkan dalam subbab 2.5, maka dapat dihitung beban pengolahan pada unit filtrasi. Beban pengolahan untuk unit filtrasi ditunjukkan pada Tabel 5.6.

Tabel 5. 6 Beban Pengolahan Unit Filtrasi

Parameter	Influen		Efisiensi	Efluen	
	Konsentrasi (mg/L)	Beban (mg/hari)		Konsentrasi (mg/L)	Beban (mg/hari)
TDS	3934	2509892	97%	118.02	75297
TSS	23.61	15065.2	88.75%	2.656	1695
Cd	0.0004	0.273	-	0.0004	0.273
Cu	0.0	0.0	91%	0.0	0.0
Cr	0.0	0.0	-	0.0	0.0
Zn	0.614	392.025	96%	0.025	15.681
Pb	0.153	97.612	87%	0.020	12.690
Ni	0.0	0.0	-	0.0	0.0
COD	6.006	3832.139	87.8%	0.733	467.521

Berikut ini adalah contoh perhitungan beban pengolahan TDS pada unit sedimentasi:

1. Konsentrasi efluen = Influen – (Efisiensi Penghilangan x Influen)

   = 3934 mg/L – (97% x 3934 mg/L)

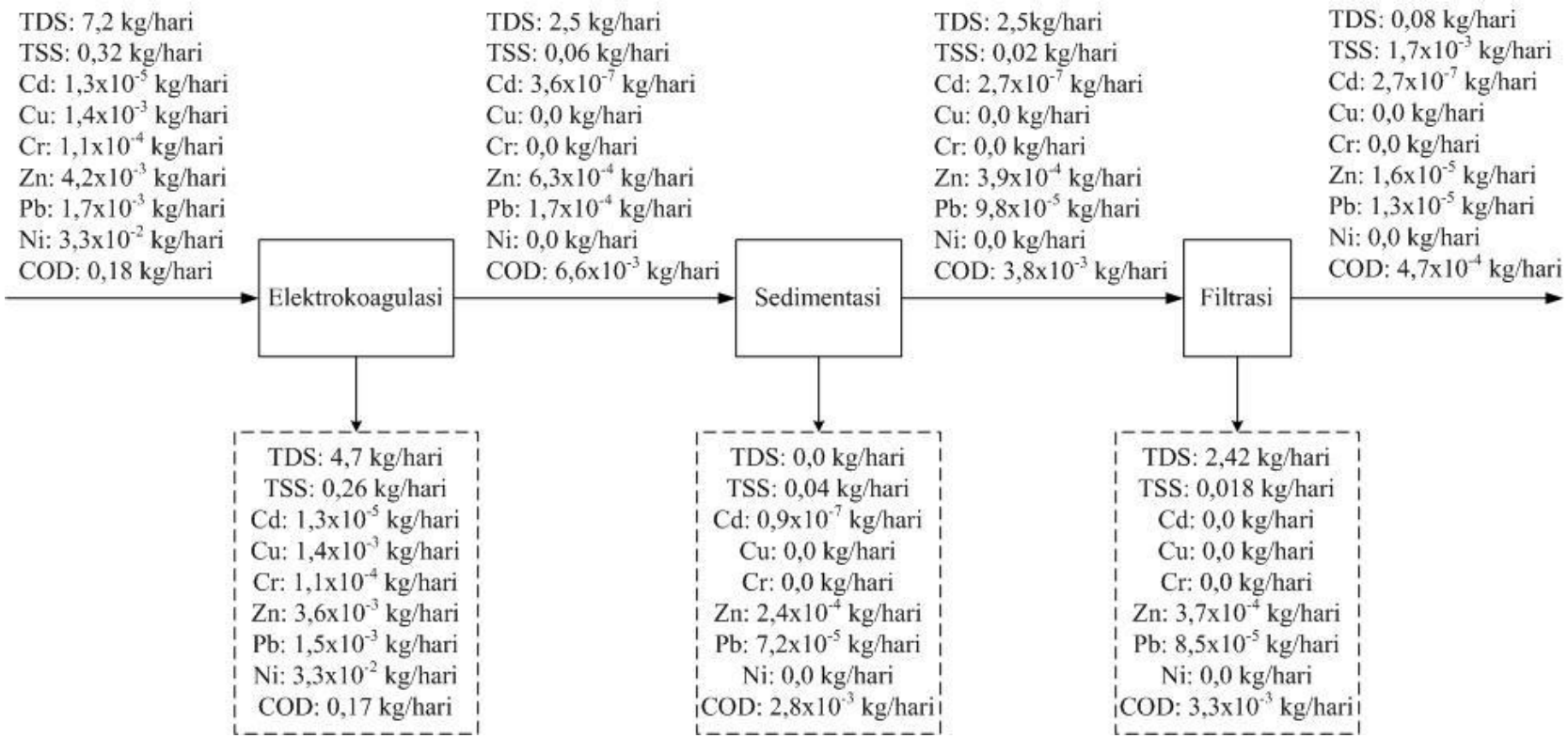
   = 118,02 mg/L

2. Efluen beban pengolahan = Influen – (Efisiensi Penghilangan x Influen)

   = 2509892 mg/hari – (97% x 2509892 mg/hari)

   = 75297 mg/hari

Berdasarkan Tabel 5.8, konsentrasi efluen limbah sudah jauh berada dibawah baku mutu Pergub DIY Nomor 20 Tahun 2008 untuk air kelas 2. Neraca massa pengolahan air limbah dalam IPAL ditunjukkan pada Gambar 5.2.



Gambar 5. 2 Neraca Massa Pengolahan Air Limbah dalam IPAL

5.5 Desain Bak Penampung Air Limbah

Air limbah perlu ditampung sebelum memasuki proses pengolahan. Hal ini dilakukan karena pada kegiatan elektroplating X tidak terdapat penampung air limbah. Selain itu, output air yang keluar dari IPAL perlu ditampung sebelum digunakan kembali. Volume bak penampung air limbah disesesuaikan dengan banyaknya limbah yang dihasilkan setiap hari.

Banyaknya air limbah yang dihasilkan dalam sehari adalah 638 L, maka volume minimal bak penampung air limbah adalah 0,638 m^3. Diasumsikan panjang dan lebar bak adalah sama dan tinggi bak adalah 70 cm, maka:

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

$$P^2 \times 0{,}7 \text{ m} = 0{,}638 \text{ m}^3$$

$$P^2 = 0{,}911 \text{ m}^2$$

$$P = 0{,}95 \text{ m} \approx 1 \text{ m}$$

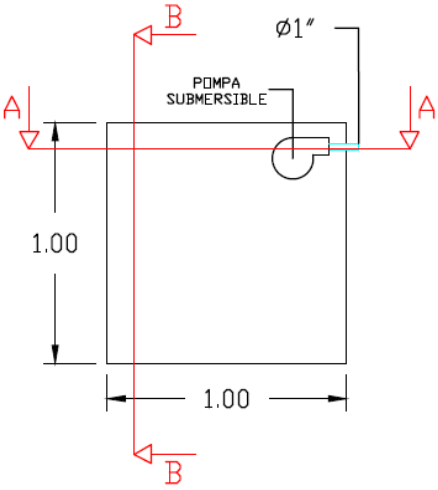
Dengan *freeboard* 10 cm, maka dimensi bak penampung air limbah adalah:

P = 1 m

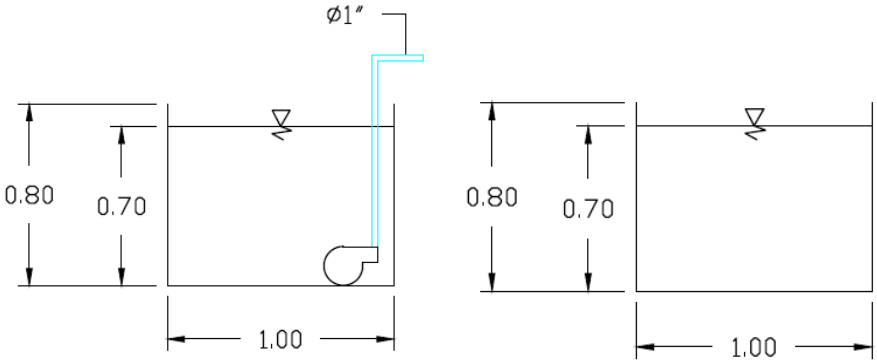
L = 1 m

H = 0,8 m

Dimensi bak penampung air limbah dan efluen ditunjukkan pada Gambar 5.3.



a



b c

Gambar 5. 3 Dimensi Bak Penampung Air Limbah dan Efluen

a. Tampak atas; b. Potongan A-A; c. Potongan B-B (dalam meter)

Air limbah sebelum memasuki unit elektrokoagulasi perlu dinetralkan agar memiliki pH yang optimal untuk proses elektokoagulasi. Penetralan dilakukan dengan memberikan larutan kapur ($Ca(OH)_2$) pada air limbah di dalam bak penampung air limbah. Berikut ini adalah perhitungan kebutuhan kapur ($Ca(OH)_2$).

Diketahui:

a. pH air limbah : 1
b. Konsentrasi $[H^+]$: 10^{-1} M

c. Volume air limbah : 638 L

d. Mr $Ca(OH)_2$: 74 gram/mol

Untuk membuat larutan $Ca(OH)_2$ 5 M dalam 1 L air, maka massa $Ca(OH)_2$ yang diperlukan adalah:

$$M = \frac{\frac{massa}{Mr}}{V}$$

$$5\ M = \frac{\frac{massa}{74\ \frac{gram}{mol}}}{1\ L}$$

$$massa = 370\ gram$$

Menggunakan persamaan penetralan, maka diketahui volume $Ca(OH)_2$ (V_2) adalah sebagai berikut:

$$M_1 \times V_1 = M_2 \times V_2$$

$$638\ L \times 10^{-1}\ M = 5\ M \times V_2$$

$$V_2 = 12{,}76\ L$$

Dengan begitu, massa $Ca(OH)_2$ untuk 12,76 L air adalah:

Massa $Ca(OH)_2$ = 12,76 L x 370 gram/L

= 4721,2 gram = 4,7 kg ≈ 5 kg

5.6 Desain Unit Elektrokoagulasi

Air limbah yang ditampung pada bak penampung air limbah akan dialirkan menuju bak elektrokoagulasi untuk diolah. Desain unit elektrokoagulasi mengacu pada subbab 2.3 dan Tabel 2.3. Data perencanaan untuk desain unit elektrokoagulasi ditunjukkan pada Tabel 5.7. Input dan output konsentrasi parameter pencemar terdapat pada Tabel 5.9.

Tabel 5. 7 Data Perencanaan Unit Elektrokoagulasi

Data	Satuan	Jumlah
Debit (Q)	m^3/hari	0,638
Panjang : Lebar (P : L)	m	1 : 1
Ar Fe	gram/mol	56
Ar Al	gram/mol	27
Waktu Kontak (t)	detik	7200
Konstanta Faraday (F)	C/mol	96500
Rapat Arus (J)	mA/ m^2	32
Tegangan (U)	Volt	5,75 – 22,1*

Keterangan:

*****(Pociecha & Lestan, 2010)

Waktu kontak elektrolisis yang optimal berdasarkan Akbal & Camci (2011) adalah 1 jam. Waktu kontak elektrolisis akan dikalikan dengan faktor keamanan agar efisiensi penghilangan pencemar selain yang disebutkan dalam Akbal & Camci (2011) optimal. Faktor keamanan diasumsikan adalah 2 sehingga waktu kontak elektrolisis menjadi 2 jam.

Berikut ini adalah perhitungan bak elektrokoagulasi:

$$V = Q \text{ x } t$$

$$V = 0{,}638 \frac{m^3}{hari} \text{ x } 7200 \text{ detik x } \frac{1 \text{ hari}}{86400 \text{ detik}}$$

$$V = 0{,}053 \text{ m}^3$$

Dengan H = 0,5 m = 50 cm, maka panjang dan lebar bak adalah:

$$P \text{ x } L \text{ x } H = V$$

$$P \text{ x } L = \frac{V}{H}$$

$$P^2 = \frac{0{,}053 \text{ m}^3}{0{,}5 \text{ m}} = 0{,}106 \text{ m}^2$$

$$P = \sqrt{0{,}106 \text{ m}^2} = 0{,}33 \text{ m} \approx 0{,}4 \text{ m}$$

Dengan *freeboard* 10 cm, maka dimensi bak elektrokoagulasi adalah:

Panjang = 0,4 m

Lebar = 0,4 m

Tinggi = 0,6 m

Volume bak = 0,096 m^3

Dimensi bak elektrokoagulasi ditunjukkan pada Gambar 5.3.

Berdasarkan tinjauan pustaka pada subbab 2.3, disebutkan bahwa semakin besar rapat arus maka semakin besar pula efisiensi penghilangan elektrokoagulasi. Maka dari itu, dipilihlah rapat arus (J) sebesar 32 mA/ m^2 dengan luas permukaan (A) elektroda sebesar 63 m^2 (Pociecha & Lestan, 2010). Berdasarkan data tersebut, maka arus (I) adalah sebagai berikut:

$$J=\frac{I}{A}$$

$$32\frac{mA}{cm^2}=\frac{I}{63\ cm^2}$$

$$I=2016\ mA=2{,}016\ A$$

Agar nilai rapat arus menjadi semakin besar maka arus (I) dibulatkan menjadi 2,5 A.

Elektroda yang digunakan dalam unit elektrokoagulasi adalah elektroda besi dan alamunium. Besi bertindak sebagai anoda sedangkan alumunium sebagai katoda. hal ini dijelaskan dalam subbab 4.6 dan Tabel 4.4. Berikut ini adalah perhitungan jumlah anoda Fe terlarut untuk setiap elektroda.

Diketahui:

Arus (I) = 2,5 Ampere

Waktu (t) = 7200 detik

Berat Molekul Fe (M) = 56 gr/mol

Jumlah elektron (z) = 2

Volume air limbah (V) = 638 L

$$mE=\frac{I\ x\ t\ x\ M}{z\ x\ F\ x\ V}$$

$$mFe = \frac{2{,}5\ A \times 7200\ detik \times 56\ \frac{gr}{mol}}{2 \times 96500\ \frac{C}{mol} \times 368\ L} = 0{,}0082\ gr/L$$

Berdasarkan perhitungan di atas, kehilangan massa anoda korban adalah 0,0082 gr/L. Sehingga jumlah flok anoda terlarut adalah:

Total anoda terlarut = 0,0082 gr/L x 638 L/hari

= 5,23 gr/hari

Konsumsi energi (E) pada unit elektrokoagulasi berasal dari energi listrik. Dalam menghitung konsumsi energi diperlukan data tengangan (U). Dalam perencanaan ini dipilih tegangan sebesar 12 volt (Lestari & Agung, 2014) yang masuk kedalam rentang tegangan 5,75 – 22,1 volt. Perhitungan konsumsi energi adalah sebagai berikut:

$$E = \frac{U \times I \times t}{V}$$

$$E = \frac{12\ V \times 2{,}5\ A \times 2\ jam}{638\ L} = 0{,}094\ kWh/L$$

Kebutuhan energi untuk 638 L air limbah adalah sebagai berikut:

$$E = 0{,}094\ kWh/L \times 638\ L = 59{,}97\ kWh$$

Kriteria untuk plat elektroda ditunjukkan pada Tabel 5.8.

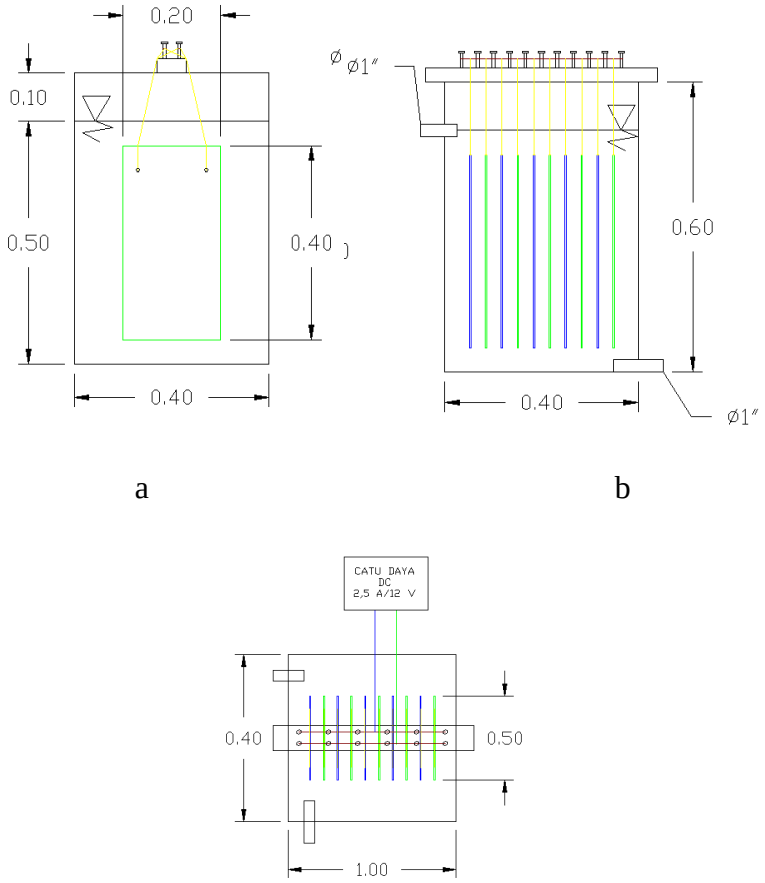
Tabel 5. 8 Kriteria Desain Plat Elektroda

Kriteria	**Jumlah**	**Referensi**
Bahan	Fe (98,94%) Al (98,86%)	(Akbal & Camcı, 2011)
Luas permukaan	736 cm^2	(Smoczyńskia et al., 2017)
Ukuran	P = 40 cm L = 20 cm	Disesuaikan dengan ukuran reaktor
Ketebalan	0,3 cm = 0,003m	(Smoczyńskia et al., 2017)
Jarak antar elektroda	3 cm = 0,03 m	(Phalakornkule et al., 2010)

Jarak antara reaktor dengan elektroda terluar adalah 3 cm (Gambar 5.4), sehingga panjang reaktor menjadi 34 cm . Jumlah elektroda yang yang digunakan dalam elektroagulasi adalah sebagai berikut:

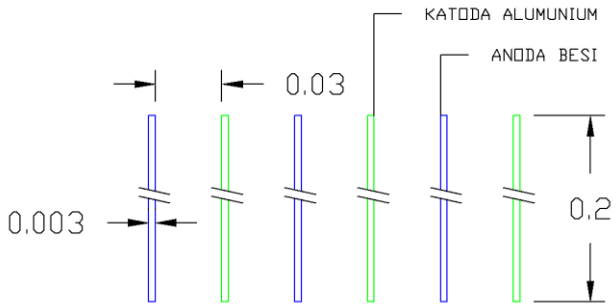
$$\text{jumlah plat} = \frac{\text{panjang reaktor}}{\text{tebal elektroda} + \text{jarak antar elektroda}} = \frac{0{,}34\ \text{m}}{0{,}003\ \text{m} + 0{,}03\ \text{m}} = 10{,}3 \approx 10\ \text{plat}$$

Berdasarkan perhitungan diatas, maka digunakan 5 plat elektroda Fe dan 5 plat elektroda Al.



Gambar 5. 4 Dimensi Bak Elektrokoagulasi

a. Tampak depan; b. Tampak samping; c. Tampak atas (dalam meter)



Gambar 5. 5 Detail Elektroda

Plat anoda besi yang dikorbankan lama-kelamaan akan habis karena menjadi flok-flok yang akan diendapkan di unit sedimentasi. Oleh karena itu, plat besi perlu diganti secara rutin. Berikut ini adalah perhitungan lama waktu untuk menggantian plat anoda Fe:

Massa besi = Volume x Massa Jenis

Dimana volume 1 plat besi adalah 0.00024 m^3 dan massa jenis besi adalah 7850 kg/m^3, maka:

Massa besi = 0.00024 m^3 x 7850 kg/m^3 = 1,9 kg

Massa 5 plat = 5 x 1,9 kg = 9,5 kg = 9500 gram

Massa anoda Fe terlarut per hari adalah 5,23 gram, maka waktu elektroda harus diganti adalah:

$$\text{waktu} = \frac{9500 \text{ gram}}{5{,}23 \frac{\text{gram}}{\text{hari}}} = 1816{,}4 \text{ hari}$$

$$\text{waktu} = 60{,}5 \text{ bulan atau 5 tahun}$$

Tabel 5. 9 Input dan Output pada Unit Elektrokoagulasi

Parameter	Influen	Efisiensi	Efluen
	Konsentrasi (mg/L)		Konsentrasi (mg/L)
TDS	11240	65%	3934
TSS	494	80%	98.80
Cd	0.021	97.30%	0.001
Cu	2.221	100%	0.0
Cr	0.175	100%	0.0
Zn	6.607	85%	0.991
Pb	2.638	90%	0.264
Ni	52.110	100%	0.0
COD	277.500	96.30%	10.268

5.7 Desain Unit Sedimentasi

Air limbah akan dialirkan menuju unit sedimentasi setelah melalui proses elektrokoagulasi. Flok-flok yang terbentuk pada proses elektrokoagulasi akan diendapkan dalam unit sedimentasi. Unit sedimentasi dalam perencanaan ini menggunakan sedimentasi *plain settling* dimana flok-flok akan mengendap karena pengaruh gravitasi. Data perencanaan untuk unit sedimentasi adalah sebagai berikut:

Debit (Q) = 0,638 m^3/hari

Waktu detensi (t) = 3 - 20 jam (Song et al., 2000)

Waktu detensi optimum yang disebutkan dalam Song et al (2000) adalah 3 jam. Dalam perencanaan ini dipilih waktu detensi 6 jam untuk meningkatkan efisiensi unit sedimentasi. Berikut ini merupakan perhitungan laju limpahan air limbah (v_0):

Volume limbah (V) = Q x t

V = 0,638 m^3/hari x 6 jam x (1 hari/ 24 jam)

V = 0,16 m^3

Dengan kedalaman bak (H) adalah 0,5 m, maka:

Luas permukaan (A) = V /H

A = 0,16 m^3/ 0,5 m

A = 0,32 m^2

Dengan begitu, laju limpahan air limbah adalah:

$$v_0 = \frac{Q}{A} = \frac{0{,}638\,\frac{m^3}{hari}}{0{,}32\ m^2} = 1{,}99\ m^3/m^2.\,hari$$

Rasio panjang dan lebar bak (P:L) yang diinginkan adalah 1:1 sehingga P = L, maka:

P x L = A

P^2 = 0,32 m^2

P = L = 0,57 m ≈ 0,6 m

Dengan begitu, volume bak sedimentasi adalah:

V = P x L x H

= 0,6 m x 0,6 m x 0,5 m

= 0,18 m^3

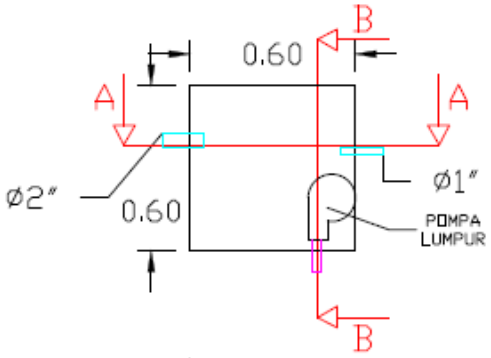
Dengan *freeboard* 10 cm, dimensi bak sedimentasi adalah:

Panjang = 0,6 m

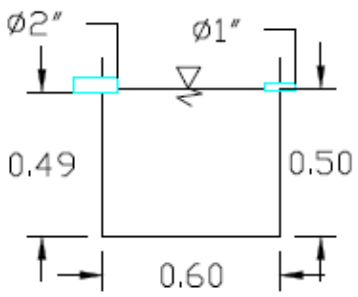
Lebar = 0,6 m

Kedalaman = 0,5 m + 0,1 m = 0,6m

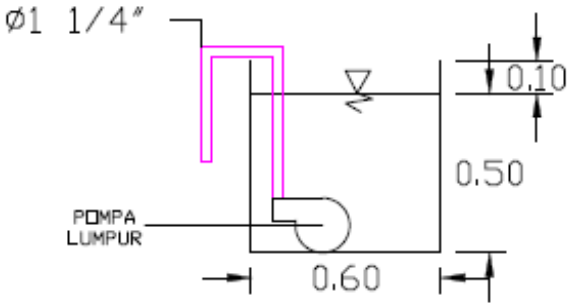
Dimensi bak sedimentasi ditunjukkan pada Gambar 5.6.



a



b



c

Gambar 5. 6 Dimensi Bak Sedimentasi

a. Tampak atas; b. Potongan A-A; c. Potongan B-B (dalam meter)

Volume lumpur yang terbentuk pada unit sedimentasi adalah sebagai berikut:

$$\text{Jumlah solid per hari} = \frac{\text{C TSS x Penghilangan x Q}}{1000\,\frac{\text{gr}}{\text{kg}}}$$

$$\text{Jumlah solid perhari} = \frac{98{,}8\ \frac{\text{gr}}{\text{m}^3}\ \text{x } 76{,}1\%\ \text{x } 0{,}638\ \text{m}^3/\text{hari}}{1000\ \text{gr/kg}} = 0{,}048\ \text{kg/hari}$$

Kecepatan horizontal (v_h) dan kecepatan pengendapan atau laju limpahan (v_0) menentukan terjadinya pengandapan seperti yang telah disebutkan pada subbab 2.4. Perhitungan kecepatan horizontal (v_h) adalah sebagai berikut:

$$v_h = \frac{Q}{L \text{ x } H} = \frac{\frac{0{,}638\text{m}^3}{\text{hari}}}{0{,}6\ \text{m x } 0{,}6\ \text{m}}$$

$$v_h = 1{,}77\ \text{m/hari}$$

$$v_0 = 1{,}99\ \text{m}^3/\text{m}^2.\text{hari}$$

Kecepatan horizontal (v_h) adalah 1,77 m/hari lebih kecil dari pada laju limpahan (v_0) 1,99 m^3/m^2/hari. Maka dari itu tercapailah $v_h < v_0$. Air limbah setelah diolah pada bak sedimentasi akan dialirkan menuju bak penampung pasca sedimentasi sebelum dipompa menuju unit filtrasi. Dimensi bak penampung pasca sedimentasi adalah sama dengan dimensi bak sedimentasi. Input dan output konsentrasi parameter pencemar terdapat pada Tabel 5.10.

Tabel 5. 10 Input dan Output pada Unit Sedimentasi

Parameter	**Influen**	**Efisiensi**	**Efluen**
	Konsentrasi (mg/L)		**Konsentrasi (mg/L)**
TDS	3934	0%	3934
TSS	98.80	76.10%	23.61
Cd	0.001	23%	0.00043
Cu	0.0	39%	0.0
Cr	0.0	83.20%	0.0
Zn	0.991	38%	0.61
Pb	0.264	42%	0.15
Ni	0.0	25%	0.0
COD	10.268	41.50%	6.006

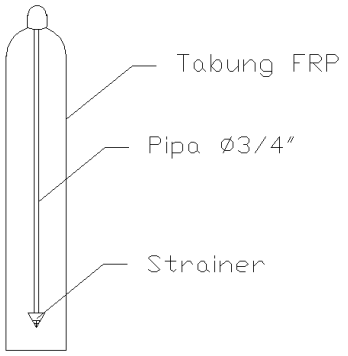
5.8 Desain Unit Filtrasi

Air limbah akan memasuki unit terakhir dalam IPAL yaitu unit flitrasi. Pencemar yang masih terdapat apada air limbah setelah melewati unit sedimentasi akan dihilangkan pada unit filtrasi. Unit filtrasi yang direncanakan menggunakan acuan dari peneliatian oleh Yudo dan Said (2005) dan Assiddieq et al (2017). Kriteria desain unit filtrasi adalah sebagai berikut:

1. Jenis media filter : pasir silika, mangan zeolit, karbon aktif
2. Rasio banyaknya media filter : 1:1:1
3. Susunan media filter : pasir silka – karbon aktif – mangan zeolit
4. Ukuran tabung filter : diameter 10 inci; tinggi 120 cm

Tabung filter yang akan dipakai adalah tabung media filter FRP (*Fiberglass Reinforce Plastic*) 1054 (Gambar 5.6). Tabung tersebut dipilih karena memiliki ukuran yang mendekati dalam penelitian Yudo dan Said (2005). Berikut ini adalah spesifikasi Tabung media filter FRD 1054:

1. Diameter : 10”
2. Tinggi : 54”
3. Bahan : Polietilen (PE)
4. Sistem *backwash* : manual dengan kran 3 *way valve*
5. Lubang input dan output : 1”
6. Lubang *backwash* : 1”
7. Tekanan maksimal : 10,5 bar / 150 psi
8. Kapasitas : 40 L/menit
9. Kapasitas media : 140 L atau ± 40 kg

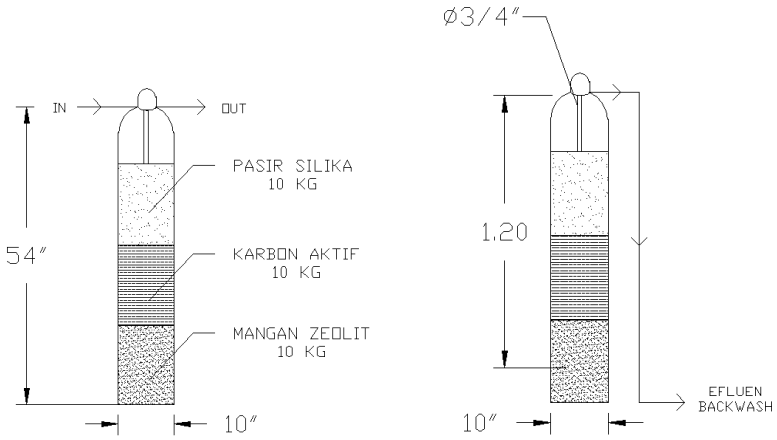


Gambar 5. 7 Tabung Filter FRP

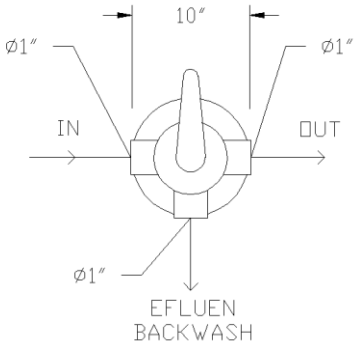
Media filter yang akan dipakai adalah pasir silika, karbon aktf dan mangan zeolit dengan rasio banyaknya media adalah 1:1:1. Pada penelitian Assiddieq et al (2017), digunakan masing-masing 4 kg media filter dengan efisiensi penghilangan pencemar seperti yang disebutkan pada subbab 2.5. Kapasitas media pada tabung media filter FRP adalah ± 40 kg, maka banyaknya media filter juga akan disesuaikan dengan kapasitas tabung FRP. Hal ini juga diharapkan dapat meningkatkan efisiensi unit filtrasi. Input dan output konsentrasi parameter pencemar terdapat pada Tabel 5.11.Berikut ini adalah perhitungan banyaknya media filter:

Banyaknya media filter = 4 kg x 250% = 10 kg

Dengan begitu banyaknya masing-masing media filter adalah 10 Kg. Dengan begitu, total banyaknya media adalah 30 kg. Detail unit filtrasi ditujukkan pada Gambar 5.8.



a b



c

Gambar 5. 8 Dimensi Tabung Filtrasi

a. Tampak depan; b. Tampak samping; c. Tampak atas (dalam meter)

Tabel 5. 11 Input dan Output pada Unit Filtrasi

Parameter	Influen	Efisiensi	Efluen
	Konsentrasi (mg/L)		Konsentrasi (mg/L)
TDS	3934	97%	118
TSS	23.61	88.75%	2.66
Cd	0.00043	0%	0.00043
Cu	0.0	91%	0.0
Cr	0.0	0%	0.0
Zn	0.61	96%	0.025
Pb	0.15	87%	0.020
Ni	0.0	0%	0.0
COD	6.006	87.8%	0.733

5.9 Pompa

Air limbah dari bak penampung dan bak pasca sedimentasi perlu dipompa agar dapat memasuki unit elektrokoagulasi dan unit filtrasi. Hal ini terjadi karena elevasi selanjutnya lebih tinggi daripada unit sebelumnya sehingga air limbah tidak bisa mengalir secara gravitasi. Pompa juga dibutuhkan untuk memompa lumpur yang dihasilkan dari unit sedimentasi. Tabel 5.12 menunjukkan data perencanaan untuk menghitung *head* pompa.

Tabel 5. 12 Data Perencanaan *Head* Pompa Filter

Data Perencanaan	**Satuan**	**Jumlah**
Debit	m^3/hari	0,638
Kecepatan Aliran	m/detik	2
Percepatan Gravitasi (g)	m/detik^2	9,81
Panjang Pipa *Suction*	meter	1,43
Panjang Pipa *Discharge*	meter	2,63
K Belokan 90°	-	0,3
K *Gate Valve*	-	0,13
Diameter Pipa	inci	1
C Kekasaran Pipa	-	150

Head pompa yang terjadi dihitung menggunakan rumus dibawah ini:

$$\text{Head Pompa} = H_{statis} + H_{sistem}$$

1. *Head* statis (H_{statis})

   H_{statis} merupakan perbedaan tinggi air pada awal pipa *suction* dengan akhir pipa *discharge*. H_{statis} pada pompa bak pasca sedimentasi adalah 1,24, maka:

   H_{statis} = 1,24 m

2. *Head* sistem ditentukan dengan rumus sebagai berikut:

$$H_{sistem} = H_f + H_m + H_{sisa\ tekan} + (v^2/2g)$$

a. Mayor *losses* (H_f) meliputi:

- *Suction*

$$Hf = \left(\frac{Q}{0{,}2785 \text{ x } C \text{ x } D^{2,63}}\right)^{1,85} \text{ x } L$$

Dimana:

L = panjang pipa *suction* = $H_{suction}$ = 1,43 m
Q = 0,0000074 m^3/dt
C = koefisien kekasaran pipa PVC (baru) = 150
D = diameter pipa = 1 inci = 0,0254 m

Maka,

$$\text{Hfsuction}=\left(\frac{0{,}0000074\ \frac{\text{m}^3}{\text{detik}}}{0{,}2785 \text{ x } 150 \text{ x } (0{,}0254 \text{ m})^{2{,}63}}\right)^{1{,}85} \text{ x } 1{,}43 \text{ m}$$

$$\text{Hfsuction} = 0{,}000027 \text{ m}$$

- *Discharge*

$$\text{Hf}=\left(\frac{\text{Q}}{0{,}2785 \text{ x C x D}^{2{,}63}}\right)^{1{,}85} \text{ x L}$$

Dimana:

L = panjang pipa *discharge* = 2,63 m
Q = 0,0000074 m^3/dt
C = koefisien kekasaran pipa PVC (baru) = 150
D = diameter pipa = 1 inci = 0,0254 m

Maka,

$$\text{Hfdischarge}=\left(\frac{0{,}0000074\ \frac{\text{m}^3}{\text{detik}}}{0{,}2785 \text{ x } 150 \text{ x } (0{,}0254 \text{ m})^{2{,}63}}\right)^{1{,}85} \text{ x } 2{,}63 \text{ m}$$

$$\text{Hfdischarge} = 0{,}000049 \text{ m}$$

b. Minor *losses* (H_m) meliputi:

- *Headloss* akibat 6 belokan 90°

Dengan: K = 0,3
V = Kecepatan aliran dalam pipa = 2 m/dt

maka: $\text{Hf}=\text{K}\frac{\text{V}^2}{2\text{g}}$

$$\text{Hf}= \left(0.3\,\frac{2^2}{2 \text{ x } 9{,}81}\right) \text{x } 6 = 0{,}4$$

- *Headloss* akibat 1 *gate valve*

Dengan: K = 0,13
V = Kecepatan aliran dalam pipa = 1 m/dt

maka: $\text{Hf}=\text{K}\frac{\text{V}^2}{2\text{g}}$

$$Hf = 0{,}13\ x\ \frac{2^2}{2\ x\ 9{,}81}$$

$$\text{Hf}=0{,}027 \text{ m}$$

Dengan begitu, maka Minor *losses* adalah:

H_m = 0,4 m + 0,027 m

= 0,427 m

c. Sisa tekan = 10 m

d. $\frac{V^2}{2g} = \frac{2^2}{2 \text{ x } 9{,}81} = 0{,}204$ m

Dengan begitu, maka *Head* Sistem adalah:

H_{sistem} = H_f + H_m + $H_{sisa\ tekan}$ + (v^2/2g)

= 0.000027 m + 0,000049 m + 0,427 m + 10 m + 0,204 m

= 10,63 m

Setelah diketahui *Head* statis dan *Head* sistem maka *Head* pompa dapat diketahui:

Head Pompa = H_{statis} + H_{sistem}

= 1,24 m + 10,63 m

= 11,87 m ≈ 12 m

Dengan begitu *head* pompa adalah 12 m. Dengan Debit adalah 0,0074 L/dt, maka dipilih pompa Shimizu PS-135E. Spesifikasi pompa ditunjukkan pada Tabel 5.13.

Tabel 5. 13 Spesifikasi Pompa Filter

Spesifikasi	**Jumlah**
Tegangan	220 V
Daya Output Motor	125 W
Daya Input Motor	300 W
Panjang Pipa Hisap	9 m
Daya Dorong Maksimal	33 m
Pipa Hisap	1 inci
Pipa Dorong	1 inci
Kapasitas Head 5 m	28 L/menit
Kapasitas Head 20 m	10 L/menit

Daya air (W_{hp}) dari pompa dapat ditentukan dengan rumus sebagai berikut:

$$W_{hp} = \frac{\gamma . Q . H}{0,075}$$

Dimana: W_{hp} = daya Air (Hp)

γ = densitas air (kg/m^3)

Q = debit air (m^3/dt)

H = *head* pompa (m)

Maka,

$$W_{hp} = \frac{1000 \text{ x } 0,0000074 \text{ x } 12}{0,075} = 1,184 \text{ Hp}$$

Dengan 1 Hp adalah 0,746 kW, maka:

W_{hp} = 1,184 Hp x 0,746 kW/Hp = 0,88 kW

Sementara itu, pompa dari bak penampung air limbah menuju bak elektrokoagulasi menggunakan pompa *submersible*. *Head* statis yang terjadi adalah 1,45 m maka dipilih pompa dengan kapasitas *head* yang lebih besar. Oleh karena itu, dipilih pompa Resun Penguin 3200 dengan spesifikasi sebagai berikut:

a. Daya listrik : 80 W
b. Daya dorong : 3,2 m
c. Debit air : 3200 L/jam
d. Pipa outlet : 3/4"

Pompa lumpur pada unit sedimentasi juga menggunakan pompa *submersible*. *Head* statis yang terjadi adalah 1,21 m maka dipilih pompa dengan kapasitas *head* yang lebih besar. Pompa lumpur juga harus mampu mengisap lumpur yang diendapkan. Oleh karena itu, dipilih pompa Aquafos AF-250 ASSW Auto dengan spesifikasi sebagai berikut:

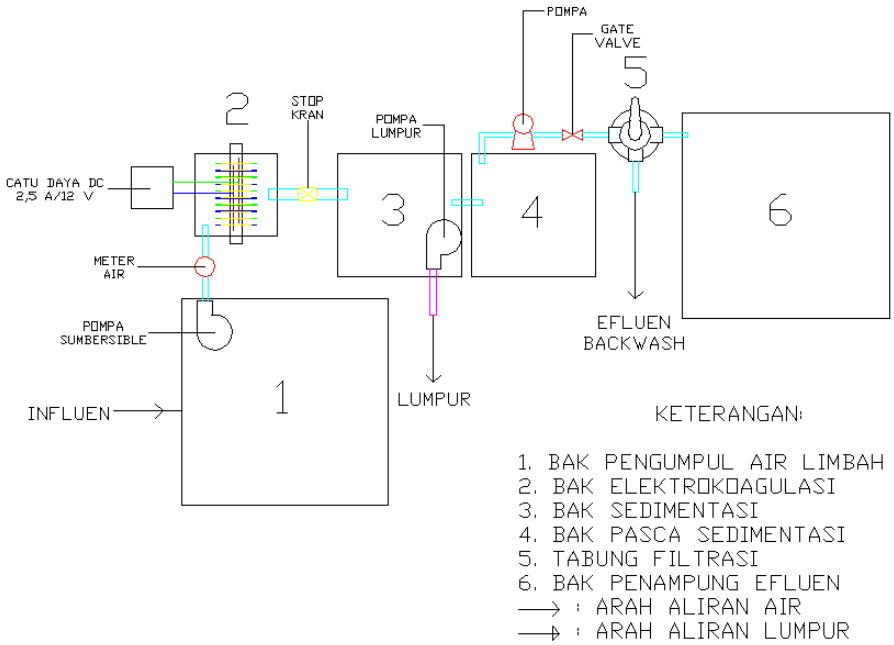
a. Daya output : 250 W
b. Daya dorong : 6,5 m
c. Ukuran butiran : 5 mm (maksimal)
d. Pipa outlet : 1 1/4"

5.10 Kesesuaian Layout dengan Area Perencanaan

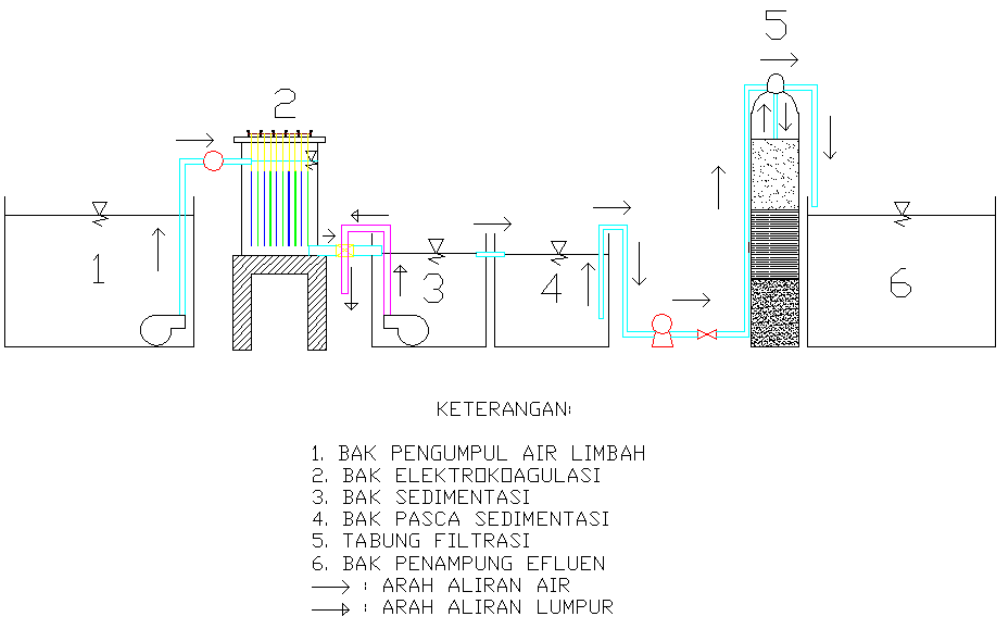
Unit pengolahan yang telah didesain pada subbab sebelumnya dirangkai sehingga membentuk sebuah Instalasi Pengolahan Air Limbah (IPAL). Peletakan setiap unit dilakukan agar air limbah dapat mengalir dari satu unit ke unit selanjutnya. Dimensi setiap unit ditunjukkan pada Tabel 5.14. Layout IPAL tampak atas dan aliran air dalam IPAL ditunjukkan pada Gambar 5.9 dan Gambar 5.10. Layout IPAL yang telah dibuat kemudian akan dilihat kesesuaiannya dengan lahan kosong yang tersedia di kegiatan elektroplating X. Kesesuaian layout IPAL ditunjukkan pada Gambar 5.11.

Tabel 5. 14 Rekapitulasi Dimensi Unit IPAL

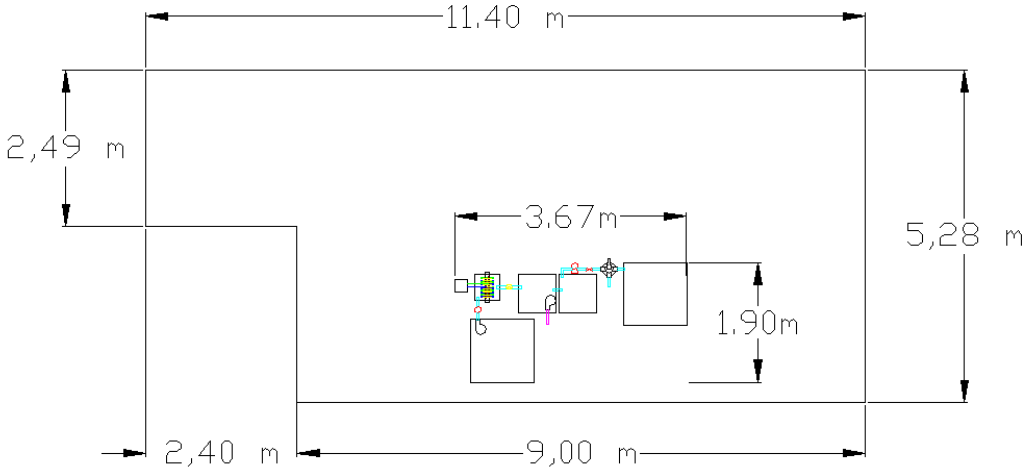
Unit	Dimensi			
	Panjang (m)	Lebar (m)	Tinggi (m)	Diameter
Bak Penampung Air Limbah	1	1	0,8	-
Bak Elektrokoagulasi	0,4	0,4	0,6	-
Bak Sedimentasi	0,5	0,5	0,6	-
Bak Pasca Sedimentasi	0,5	0,5	0,6	-
Tabung Filtrasi	-	-	54 inci	10 inci
Bak Penampung Efluen	1	1	0,8	-



Gambar 5. 9 Layout IPAL Tampak Atas

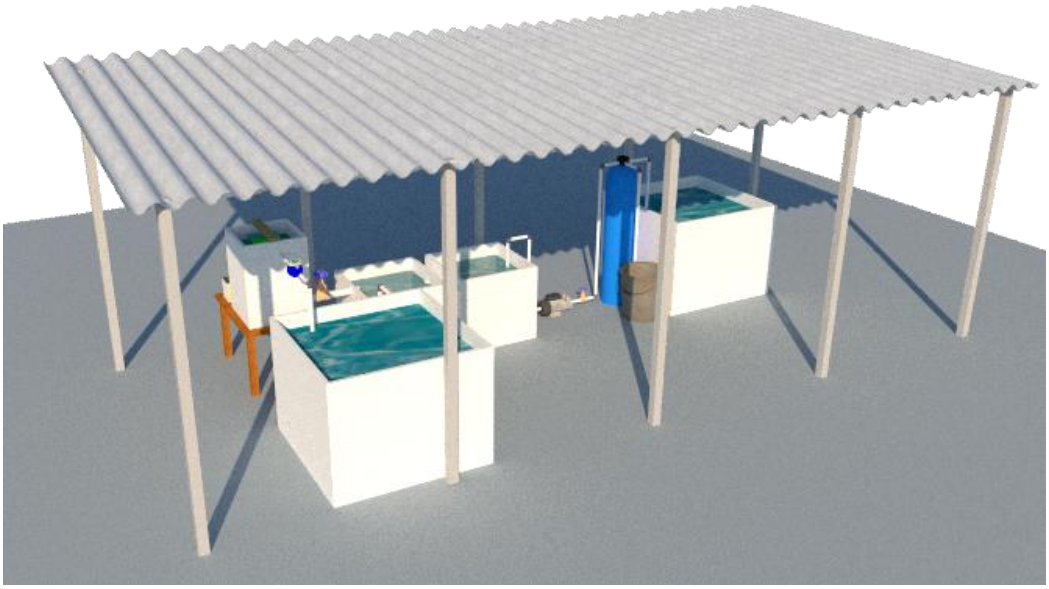


Gambar 5. 10 Arah Aliran Air dalam IPAL



Gambar 5. 11 Kesesuaian Layout dengan Lahan yang Tersedia

Berdasarkan Gambar 5.11, luas total IPAL yang direncanakan adalah 3,67 m x 1,90 m. Luas total IPAL tersebut lebih kecil dibandingkan dengan luas lahan kosong yang tersedia. Oleh karena itu, layout IPAL yang direncanakan dinyatakan sesuai. IPAL akan dilengkapi dengan atap baja ringan (Gambar 5.12) agar terhindar dari hujan dan sinar matahari secara langsung.



Gambar 5. 12 IPAL3 Dimensi dengan Atap Baja Ringan

5.11 Bill of Quantity (BOQ) dan Rencana Anggaran Biaya (RAB)

Perencanaan IPAL elektroplating meliputi perhitungan *Bill of Quantity* (BOQ) dan Rancana Anggaran Biaya (RAB). Kebutuhan alat, material dan media yang diperlukan dalam perencanan IPAL diuraikan dalam subbab *Bill of Quantity* (BOQ). Sementara itu estimasi biaya yang diperlukan untuk membangun IPAL yang direncanakan dan biaya listrik yang diperlukan diuraikan dalam subbab Rancana Anggaran Biaya (RAB).

5.11.1 Bill of Quantity (BOQ)

Bill of Quantity (BOQ) dari perencanaan IPAL ini meliputi kebutuhan bak, elektroda, pipa dan asesoris pipa, alat dan media, kayu, listrik serta kapur. Rincian dari *Bill of Quantity* (BOQ) ditunjukkan pada Tabel 5.15 sampai Tabel 5.22. *Bill of Quantity* (BOQ) ini digunakan untuk menghitung Rancana Anggaran Biaya (RAB) investasi pembangunan dan operasioanal IPAL.

Tabel 5. 15 BOQ Bak Unit IPAL

Bak	**Luas Permukaan (m^2)**
Bak Penampung Air Limbah	4,2
Bak Elektrokoagulasi	1,12
Bak Sedimentasi	1,8
Bak Pasca Sedimentasi	1,8
Bak Efluen Air Limbah	4,2

Tabel 5. 16 BOQ Elektroda

Plat Elektroda	**Luas Total (m^2)**
Anoda Besi	0,4
Katoda Alumunium	0,4

Tabel 5. 17 BOQ Pipa

Jenis Pipa	**Panjang (m)**
Pipa 3/4"	1.2
Pipa 1"	6.48
Pipa 1 1/4"	1.21
Pipa 2"	0.4

Tabel 5. 18 BOQ Asesoris Pipa

Jenis Asesoris	**Diameter**	**Jumlah**
Ploksok	1" x 3/4"	2
Shock drat	1"	3
Elbow	1"	7
Elbow	1 1/4"	2
Watermur	1"	3
Stop Kran	2"	1
Gate Valve	1"	1
Water Meter	1"	1

Tabel 5. 19 BOQ Alat dan Media

Unit	Jumlah	Satuan
Catu Daya DC	1	buah
Electrode Holder	10	buah
Kabel Input & Output Catu Daya DC	1	buah
Kawat Tembaga	10	buah
Pompa Submersible	1	buah
Pompa Lumpur	1	buah
Pompa Filter	1	buah
1 Set Tabung FRP 1054	1	buah
Pasir Silika	10	kg
Mangan Zeolit	10	kg
Karbon Aktif	10	kg
Orange Skrup Tapping FH 6x3/4 x-1009	15	pak
Kanopi Baja Ringan	1	set

Tabel 5. 20 BOQ Kayu

Peruntukan	Jenis Kayu	Jumlah
Kayu Penggantung Elektroda	Kayu Kaso Jati 50x4x3	2
Tempat Bak EC	Custom Meja Kayu 80x50	1

Tabel 5. 21 BOQ Kebutuhan Listrik

Kebutuhan Listrik	Daya Listrik (kW)
Elektrokoagulasi	59.97
Pompa Submersible	0.08
Pompa Lumpur	0.25
Pompa Filter	0.82

Tabel 5. 22 BOQ Kapur

Kebutuhan Kapur	Jumlah (kg)
$Ca(OH)_2$ per hari	5

5.11.2 Rencana Anggaran Biaya (RAB)

Rencana Anggaran Biaya (RAB) dari perencanaan IPAL ini meliputi biaya pengadaan material bak, elektroda, pipa dan asesoris pipa, alat dan media, kayu, serta biaya operasioanl listrik dan kebutuhan kapur. Rincian dari Rencana Anggaran Biaya (RAB) ditunjukkan pada Lampiran 1. Rekapitulasi RAB untuk membangun IPAL serta biaya operasional ditunjukkan pada Tabel.23 dan 5.24.

Tabel 5. 23 Rekapituliasi RAB

Jenis Biaya	Total Harga	
Pengadaan Pipa	Rp	278,300.00
Pengadaan Asesoris Pipa	Rp	752,300.00
Pengadaan Material Bak	Rp	517,500.00
Pengadaan Plat Elektroda	Rp	538,450.00
Pengadaan Kayu	Rp	114,000.00
Pengadaan Alat, Media dan Listrik	Rp	4,062,600.00
Upah Pekerja	Rp	2,350,600.00
Jumlah Total	**Rp**	**8,613,750.00**

Tabel 5. 24 Biaya Operasional untuk 638 L Air Limbah

Jenis Biaya	Total Harga	
Listrik	Rp	81,187.60
Kapur	Rp	55,000.00
Jumlah Total	**Rp**	**136,187.60**

5.12 Operasional dan Pemeliharaan IPAL

Perencanaan IPAL ini meliputi panduan operasional dan pemeliharaan dari setiap unit yang telah didesain. Unit yang dimaksud adalah unit elektrokoaglasi, sedimentasi dan filtrasi. Panduan operasional dan pemeliharaan dijelaskan dalam subbab berikut ini.

Air limbah yang ditampung pada bak penampung air limbah perlu dinetralisasi sebelum dilalukan pengolahan pada unit elektrokoagulasi. Penetralan dilakukan dengan cara berikut ini:

a. Melarutkan 5 kg kapur ($Ca(OH)_2$) dalam 12,76 L air.
b. Larutan kapur dituang ke dalam bak penampung air limbah yang telah terisi air limbah.
c. Mengaduk campuran larutan kapur dan air limbah sampai merata.

5.12.1 Operasional dan Pemeliharaan Unit Elektrokoagulasi

Berikut ini adalah operasional unit elektrokoagulasi:

a. Plat elektroda besi dan alumunium digantung menggunakan kawat tembaga dan disusun selang-seling.
b. Kawat tembaga dikaitkan ke kawat besi yang disambungkan pada catu daya DC.
c. Air limbah dari bak pengumpul yang telah dinetralkan akan dipompa menuju bak elektrokoagulasi.
d. Catu daya DC diatur pada arus 2,5 A dan tegangan 12 Volt.
e. Proses elektrokoagualsi berlangsung selama 2 jam.
f. Selama proses berlangsung akan terbentuk buih dan endapan akibat adanya reaksi yang berlangsung pada anoda besi dan katoda alumunium.
g. Setelah proses elektrokoagulasi selesai, air limbah dan endapan yang terbentuk akan dialirkan menuju unit sedimentasi.
h. Flok yang terbentuk akan diendapkan pada unit sedimentasi.

Berikut ini adalah pemeliharaan unit elektrokoagulasi:

a. Plat anoda besi diganti setiap 5 tahun sekali
b. Bercak atau lapisan berwarna putih yang menempel pada plat katoda alumunium dibersihkan secara rutin setiap proses elektrokoagulasi selesai. Hal ini bertujuan agar kinerja plat elektroda tetap optimal.

5.12.2 Operasional dan Pemeliharaan Unit Sedimentasi

Berikut ini adalah operasional unit sedimentasi:

a. Air limbah setelah melalui unit elektrokoagulasi akan memasuki unit sedimentasi.
b. Air limbah akan diolah dalam unit sedimentasi dengan cara didiamkan selama 6 jam.
c. Selama waktu itu akan terjadi proses pengendapan secara gravitasi dimana partikel yang lebih berat akan mengendap di dasar bak sedimentasi.
d. Endapan di dasar bak yang terbentuk setelah 6 jam akan dipompa keluar dengan pompa lumpur.
e. Selanjutnya air limbah akan dialirkan ke bak pasca sedimentasi dan dipompa masuk ke unit filtrasi.

Berikut ini adalah pemeliharaan unit sedimentasi:

a. Buih-buih dan benda lain yang terapung pada bak sedimentasi dan pasca sedimentasi harus dibersihkan.
b. Bersihkan bak sedimentasi dan pasca sedimentasi dari kotoran atau flok yang menempel pada dinding saat bak dalam keadaan kosong.
c. Bersihkan pipa pembuangan lumpur sehingga lumpur dapat dialirkan dengan lancar.

5.12.3 Operasional dan Pemeliharaan Unit Filtrasi

Berikut ini adalah operasional unit filtrasi:

a. Sebelum proses filtrasi dimulai pastikan tuas 3 *way valve* berada dalam posisi filter.
b. Saat pompa dorong dihidupkan, air limbah dari unit sedimentasi akan masuk ke dalam tabung filter FRP.
c. Setelah air masuk kedalam tabung filter, media di dalam tabung akan menyaring pencemar yang masih ada di dalam air limbah.

d. Selanjutnya air akan keluar melalui pipa output dan ditampung pada bak output.

Berikut ini adalah pemeliharaan unit filtrasi:

a. Pencucian media dilakukan dengan memutar tuas 3 *way valve* ke posisi *backwash*.
b. Sementara itu, untuk membuang kotoranyang terakumulasi di dalam media dan kotoran yang ada didalam pipa dilakukan dengan memutar tuas 3 *way valve* pada posisi *fast rinse*.
c. Air dan kotoran dari proses *backwash* dan *fast rinse* akan keluar melalui pipa pembuangan dan ditampung dalam ember lalu dimasukkan ke bak penampung air limbah untuk diolah kembali.
d. Proses filtrasi dapat dilakukan kembali setelah air yang keluar dari proses *backwash* dan *fast rinse* bersih.
e. Proses *backwash* dan *fast rinse* dilakukan satu kali dalam seminggu untuk menjaga agar media dan pipa tetap bersih.

“Halaman ini sengaja dikosongkan”