

BAB IV PEMBAHASAN

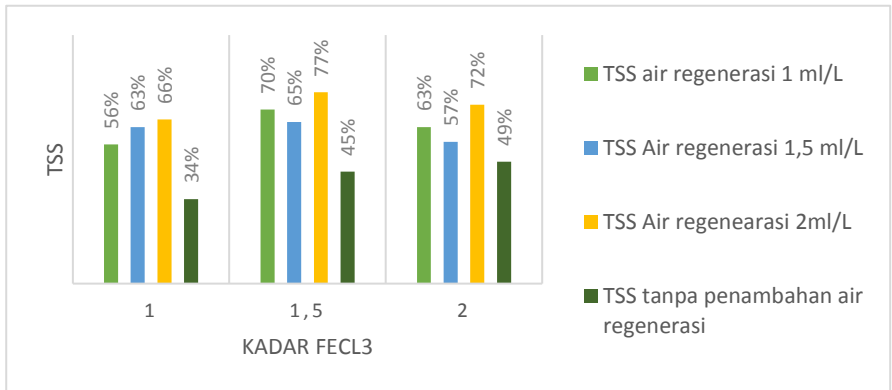
4.1 Pemanfaatan air regenerasi sebagai *coagulan aids*

PermenLH no 68 tahun 2016 dalam pasal 3 ayat 1 menyebutkan bahwa setiap usaha dan/atau kegiatan yang menghasilkan limbah domestik wajib melakukan pengolahan air limbah domestik yang dihasilkan. Dari Peraturan Menteri tersebut dijelaskan bahwa pemerintah mewajibkan seluruh badan usaha atau kegiatan tidak terkecuali PT Behaestex Pandaan untuk melakukan pengolahan terhadap limbah domestik. Di PT Behaetex Pandaan limbah domestik dihasilkan dari beberapa kegiatan yakni, toilet, kantin, tempat ibadah, dan proses *water softening* dengan debit total rata-rata sebanyak 92 m³/hari.

Proses *water softening* menghasilkan air limbah buangan atau selanjutnya akan disebut air regenerasi yang mengandung kadar MgCl₂ dan CaCl₂ yang cukup tinggi yaitu 51.552 mg/L. PERMENKES no. 416 tahun 1990 membatasi kadar klorida yang diizinkan untuk dibuang ke badan air maksimal sebesar 600 mg/L. Maka dari itu dibutuhkan pengolahan terhadap air regenerasi yang dihasilkan oleh proses *water softening* sebelum dibuang ke lingkungan.

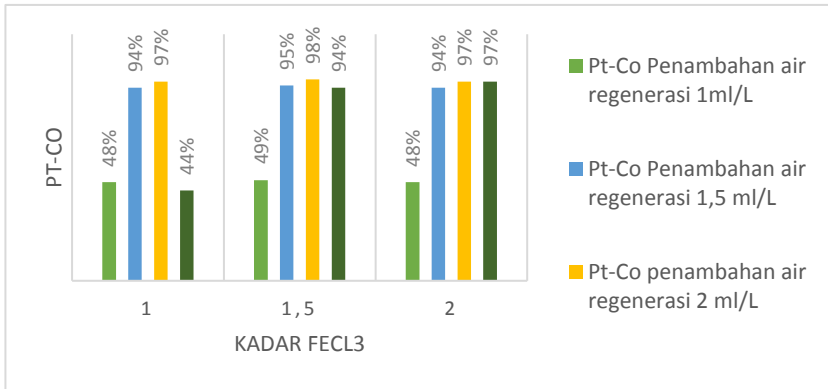
Air limbah yang dihasilkan dari proses *water softening* sebanyak 12 m³/hari atau sebesar 13% dari total limbah domestik per hari. Apabila ditinjau dari bahan kimia yang terkandung dalam air regenerasi dalam hal ini adalah MgCl₂ dan CaCl₂ maka membuka kemungkinan untuk dimanfaatkan kembali. Beberapa literatur menyebutkan bahwa salah satu pemanfaatan air regenerasi adalah dengan menjadikannya sebagai *coagulant aid* pada proses koagulasi.

Reynold (1995) menyebutkan bahwa semua alkali dapat mengendap kecuali Na^{2+} dan K^{2+} . Penambahan alkali sebagai *coagulant aid* akan dapat membentuk flok dengan baik. Dalam hal ini Mg^{2+} dan Ca^{2+} merupakan unsur yang berada pada golongan IIA dan memiliki sifat alkali, maka dari itu unsur Mg^{2+} dan Ca^{2+} dapat dimanfaatkan sebagai *coagulant aid*. Hal ini dibuktikan pada uji *jar test* dengan hasil uji yang ditunjukkan pada **Gambar 4.1, Gambar 4.2, Gambar 4.3** dan **Gambar 4.4**.



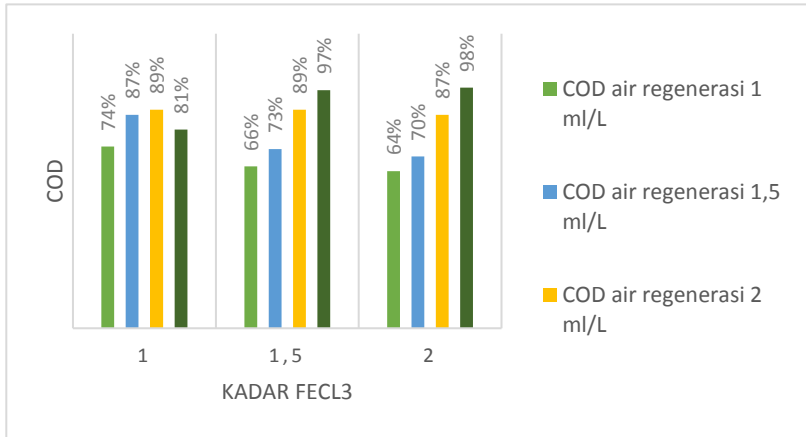
Gambar 4.1 Grafik hubungan variasi FeCl_3 dan air regenerasi terhadap penurunan kadar TSS

Grafik yang ditampilkan dalam **Gambar 4.1** mengilustrasikan tentang bagaimana air regenerasi dapat berpengaruh terhadap kadar penggunaan koagulan dan kadar TSS yang dapat direduksi dari proses koagulasi flokulasi. Dari grafik tersebut dapat diketahui bahwa temuan yang didapatkan dari penambahan air regenerasi sebagai *coagulant aid* memiliki persentase removal terhadap TSS mencapai 77% dengan hanya melibatkan 1,5 ml/l. Sedangkan tanpa penambahan air regenerasi dengan kadar FeCl_3 yang sama TSS removal hanya sebesar 45%.



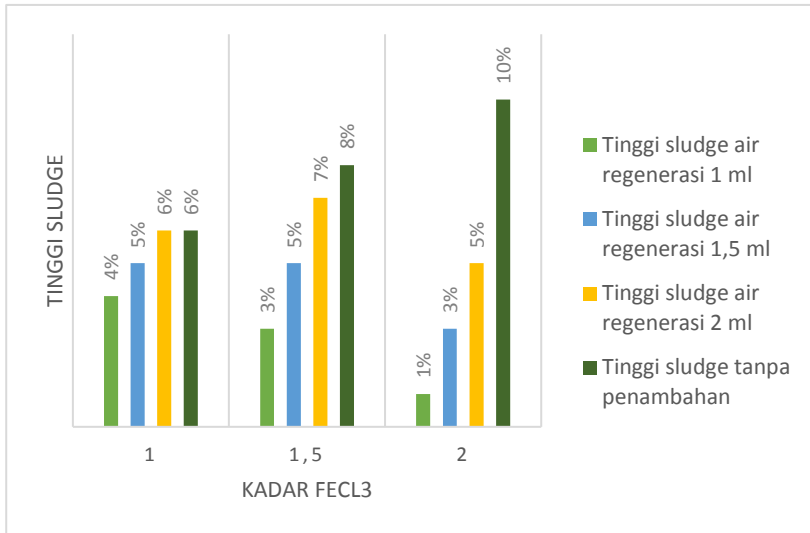
Gambar 4.2 Grafik hubungan variasi FeCl_3 dan air regenerasi terhadap penurunan kadar Pt-Co

Pt-Co adalah skala yang digunakan untuk mengukur tingkat warna air. Sebenarnya warna tidak tercantum dalam regulasi sebagai salah satu parameter yang dibatasi sebelum dibuang ke lingkungan. Namun, pada umumnya masyarakat hanya meninjau kualitas air limbah berdasarkan warna, bau, dan kekeruhan dari air limbah yang dibuang, sedangkan air limbah dengan warna yang pekat tidak mengindikasikan bahwa limbah tersebut berbahaya. Maka dari itu untuk menjaga persepsi masyarakat awam terhadap kualitas limbah, perlu dilakukan *treatment* terhadap warna air limbah. Dari grafik yang ditunjukkan pada **Gambar 4.2** dapat diketahui bahwa persentase penurunan warna tertinggi sebesar 98% dengan penambahan air regenerasi 2ml/l dan koagulan 1,5 ml/l. Untuk penurunan warna dengan kadar koagulan yang sama tanpa penambahan air regenerasi persentasenya sebesar 94%. Maka dari hasil tersebut dapat dikatakan bahwa penambahan air regenerasi dapat lebih efektif menurunkan kadar warna dengan penggunaan koagulan yang lebih efisien.



Gambar 4.3 Grafik hubungan variasi FeCl_3 dan air regenerasi terhadap penurunan kadar COD

Pergub no 72 tahun 2013 menyebutkan bahwa untuk kadar maksimal COD yang diizinkan untuk dibuang ke lingkungan kadarnya tidak boleh melebihi 150 mg/L. Berdasarkan dari regulasi tersebut maka perlu diadakan pengolahan terhadap kadar TSS air limbah yang akan dibuang ke lingkungan. IPAL yang diusulkan menggunakan unit koagulasi flokulasi serta *clarifier* untuk menurunkan kadar TSS dari air limbah. Dari proses ini diharapkan kadar TSS yang dibuang ke lingkungan tidak lebih dari 150 mg/L. Dari hasil penelitian kemampuan penambahan air regenerasi dalam menurunkan air limbah mencapai 89% dengan penambahan koagulan sebanyak 1,5 ml/L dan air regenerasi sebanyak 2 ml/L. Hasil ini memang tidak sebesar penurunan tanpa penambahan air regenerasi yang mencapai 97% namun tetap dapat dikatakan efektif karena memenuhi baku air limbah dan sesuai dengan spesifikasi pengolahan selanjutnya yaitu aerasi yang akan dapat bekerja secara efektif di kondisi ideal dengan kadar COD : BOD mendekati 2:1.



Gambar 4.4 Grafik hubungan variasi FeCl_3 dan air regenerasi terhadap produksi lumpur

Flok yang dihasilkan pada unit koagulasi-flokulasi akan mengendap dan menghasilkan *sludge*. Jumlah *sludge* yang dihasilkan tergantung pada kadar pencemar dalam air limbah, variasi penggunaan bahan kimia sebagai koagulan dan juga variasi kadar yang diterapkan. Untuk limbah yang sama namun dengan jenis dan kadar koagulan yang berbeda akan menghasilkan *sludge* dengan jumlah dan karakteristik yang berbeda pula. Menurut pengujian yang telah dilakukan air limbah yang dihasilkan dari penggunaan koagulan sebanyak 1,5 ml/L dan penambahan 2 ml/L air regenerasi sebesar 7 %. Jumlah ini lebih sedikit dibanding air limbah tanpa penambahan air regenerasi. Hal ini dapat dikatakan lebih baik mengingat *sludge* merupakan golongan limbah B3 yang memerlukan pengolahan

khusus. Maka dari itu semakin sedikit *sludge* yang dihasilkan akan semakin baik.

Data mengatakan dari keseluruhan perlakuan, perlakuan dengan kemampuan removal yang paling tinggi terdapat pada variasi kadar FeCl_3 sebanyak 1,5 ml/L dan air regenerasi sebanyak 2ml/L. Ditinjau dari hasil penelitian dapat dikatakan bahwa penambahan air regenerasi dapat secara efektif menghemat penggunaan FeCl_3 sebagai koagulan dengan produksi lumpur yang relatif lebih sedikit. Maka dari itu temuan ini diharapkan dapat memberikan keuntungan berupa pengurangan kebutuhan konsumsi bahan kimia dalam IPAL yang diusulkan.

4.3 Rancangan Unit IPAL

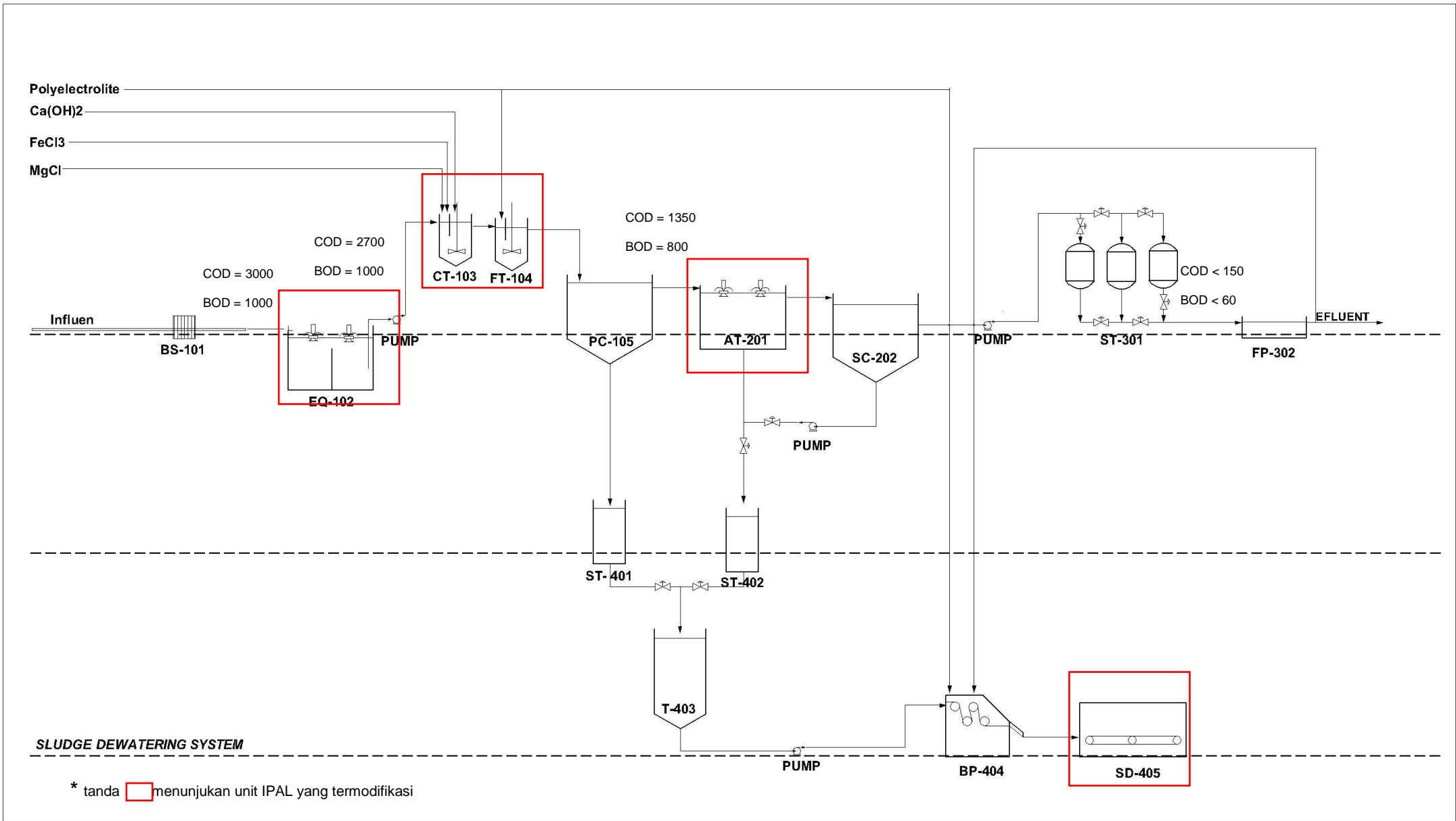
4.3.1 Desain Unit Pengolahan Air Limbah

Sistem yang di usulkan seperti pada **Gambar 4.5** secara garis besar terbagi sebagai proses *pre tretment*, *primary treatment*, *secondary treatment* dan *tertiery treatment*. Sebagai proses pendahuluan atau *pre treatment* unit yang dipilih adalah unit *mechanical barscreen*. Setelah melalui *barscreen* air limbah akan ditampung dalam bak ekualisasi dengan ditambahkan proses aerasi oleh *surface aerator* dengan maksud untuk menghomogenkan debit dan kandungan air limbah, menurunkan suhu limbah yang terbilang cukup tinggi dan menurunkan kadar COD volatil. Di bak ekualisasi modifikasi yang dilakukan adalah dengan mengoperasikan satu unit bak ekualisasi.

Air limbah yang debit dan kandungannya telah ter homogenisasi dimasukkan ke proses selanjutnya yakni *primary treatment*. Prose *primary treatment* meliputi metode koagulasi-flokulasi yang dimaksudkan untuk menurunkan parameter seperti COD, BOD, TSS, dan warna air limbah. Di bak koagulasi - flokulasi modifikasi yang dilakukan adalah dengan menambahkan air regenerasi yang berasal dari limbah proses

water softening. Dari penelitian yang telah dilakukan, penambahan air regenerasi sebagai *coagulant aid* dapat menghemat penggunaan kapur, koagulan serta mengurangi beban instalasi pengolahan limbah domestik. Proses koagulasi flukulasi akan menimbulkan flok yang kemudian akan diendapkan didalam *primary clarifier*.

Air limbah yang keluar dari *primary treatment* memiliki kadar BOD yang masih diatas ambang batas baku mutu yang telah ditentukan sebesar 800 mg/l maka dari itu dilakukan pengolahan lanjutan berupa *secondary treatment*. Metode yang di pilih untuk mereduksi kadar BOD adalah dengan metode lumpur aktif dengan sistem *extended aeration*. Unit yang digunakan untuk sistem *extended aeration* terdiri dari unit aerasi dan *secondary clarifier* untuk memisahkan antara lumpur dan air limbah. Dilanjutkan dengan unit filtrasi dengan *sand filter* untuk menurunkan kadar TSSnya



Gambar 4.5 Bagan alir proses pengolahan air limbah rencana

Keterangan :

BS-101 : Bar screen

EQ-102 : Bak ekualisasi

CT-103 : Tangki koagulasi

FT-104 : Tangki flokulasi

PC-105 : Primary clarifier

AT-201 : Tangki aerasi

SC-202 : Secondary clarifier

CF-301 : Carbon filter

FP-302 : Fish pond

ST-401 : *Sumptank*

ST-402 : *Sumptank*

T-403 : *Thickener*

BP-404 : *Belt press*

SD-405 : *Sludge dryer*

----- : Level permukaan tanah



: *Surface aerator*

Sludge yang dihasilkan dari sistem akan di olah oleh *sludge dewatering system*. Unit yang digunakan dalam *sludge dewatering system* meliputi unit *belt press* dan *sludge dryer*. *Sludge* yang telah diturunkan kadar airnya kemudian akan diserahkan kepada pihak ketiga untuk diolah secara lebih lanjut. Sistem yang di terapkan merupakan gabungan dari proses fisika, kimia dan biologi. Diharapkan dari proses yang diterapkan ini akan terbangun suatu sistem instalasi pengolahan air limbah yang dapat memenuhi kriteria yang telah ditentukan pemerintah dan dapat meneka biaya operasional.

4.4 Perancangan Dimensi Unit IPAL

4.4.1 Perancangan Unit Bar screen

Bar screen adalah salah satu alat yang digunakan dalam instalasi pengolahan air limbah yang berfungsi sebagai penyaring atau mencegah adanya padatan seperti sampah kerikil atau benda lain dengan ukuran besar yang berpotensi dapat mengganggu proses selanjutnya apabila masuk ke dalam proses IPAL. Di PT Behaestex Pandaan sendiri, fungsi dari *barscreen* adalah untuk menyaring limbah benang agar tidak mengganggu kinerja aerator pada proses ekualisasi. Tipe *bar screen* yang direncanakan adalah *mechanical bar screen* atau *bar screen* dengan pembersih otomatis dengan kriteria desain ditunjukkan pada **Tabel 3.1**.

Pertimbangan dalam pemilihan tipe mekanik ini adalah untuk meminimalkan tenaga kerja karna tipe mekanik ini akan membersihkan padatan yang tertahan secara otomatis. Perhitungan pada Lampiran III menghasilkan dimensi dan spesifikasi *bar screen* yang telah sesuai dengan kriteria ditunjukkan dengan **Tabel 4.1**.

Unit *barscreen* yang ideal adalah apabila unit tersebut telah memenuhi kriteria desain yang menjadi acuan dari perancangan unit. Kriteria desain menstandarkan beberapa parameter rancangan seperti kecepatan aliran, kedalaman, juga panjang *headloss* dari suatu unit *Barscreen*.

Dari **Tabel 4.1** dapat diketahui bahwa hasil perancangan unit *barscreen* yang diusulkan telah sesuai dengan kriteria desain.

Tabel 4.1 Dimensi unit bar screen

Parameter	Nilai	Kriteria desain
Luas penampang bar, m ²	0,09	
Jumlah bukaan bar	4	
Jumlah bar	3	
Diameter bar,	0,01	
Lebar chamber, m ²	0,33	
Kedalaman sebelum bar (d ₁), m	0,2763	
Kedalaman saat melewati bar (d ₂), m	0,23	
Kecepatan air saat melewati bar (v ₂), m/det	0,71	0,6-1
Headloss di rack, m	0,08	0,08-0,1
Kedalaman setelah melewati bar	0,17	
Kecepatan air setelah melewati bar (v ₃),	0,96	0,6-1
Kedalaman air saat 50% clogging (d' ₂),	0,23	
Kecepatan air saat 50% clogging (Headloss saat 50% clogging (H ₅₀))	0,08	0,08-0,1
Diameter inlet (D inlet)	0,342	
Diameter outlet (D outlet)	0,15	

4.4.2 Perancangan Bak Ekualisasi

Ekualisasi adalah suatu proses yang diterapkan dalam unit pengolahan air limbah yang memiliki manfaat untuk menghomogenisasi debit dan juga beban pencemar yang terkadang dalam air limbah. Bak ekualisasi yang di rencanakan dalam perancangan ini ditambahkan aerator untuk memperkaya fungsi dari aerasi. Fungsi dari aerator sendiri adalah untuk mereduksi suhu dan COD *volatile* yang terkandung dalam air limbah PT Behaestex Pandaan. Kriteria desain bak ekualisasi

ditunjukkan pada **Tabel 3.2**. Data awal yang dibutuhkan untuk merancang suatu unit bak ekualisasi antara lain adalah data fluktuasi debit per jam selama 24 jam yang kemudian dicatatkan dan diolah seperti yang ditunjukkan pada **Tabel 4.2**. Selain fluktuasi debit, data pendukung lainnya adalah data fluktuasi parameter seperti BOD, COD dan TSS yang tercatat pada **Tabel 4.3**.

Bersumber dari data yang didapat dan juga diolah maka selanjutnya dilakukan perhitungan pada Lampiran III dan menghasilkan desain bak koagulasi dengan dimensi sebagai berikut :

- Volume bak ekualisasi : $55,69 \text{ m}^3$
- Dimensi bak ekualisasi :
 - Luas permukaan : $21,3 \text{ m}^2$, panjang sisi 4,6 m
 - Luas alas : $5,325 \text{ m}^2$, panjang sisi 2,4 m
- Saluran inlet :
 - Kecepatan aliran : 0,3 m/s
 - Lebar saluran : 32 m
- Saluran outlet :
 - Kecepatan aliran : 0,3 m/s
 - Lebar saluran : 0,3 m

Kriteria desain menstandarkan bahwa perbandingan luas alas dan dimensi dari suatu bak ekualisasi yang ideal berkisar antara 20%-25%. Dimensi bak ekualisasi dari hasil perhitungan diketahui memiliki luas alas $5,325 \text{ m}^2$ dan luas permukaan $21,3 \text{ m}^2$. Maka dari itu bak ekualisasi yang dirancang telah sesuai dengan kriteria desain. Sedangkan untuk kecepatan aliran yang dirancang juga telah memenuhi kriteria desain dengan selang 0,3m/s - 0,6m/s.

Tabel 4.2 Data fluktuasi debit unit ekualisasi

Jam	Debit Inlet (m3/jam)					Debit Outlet m3/jam	Volume Kumulatif	
	%	<i>Finishing</i>	<i>Prep</i>	<i>Dyeing</i>	Total		Inlet m3	Outlet m3
08.00	4,72%	20,0	0,8	50,0	70,8	62,5	70,8	62,5
09.00	3,87%	20,0	0,1	38,0	58,1	62,5	128,9	125,0
10.00	2,82%	20,0	0,3	22,0	42,3	62,5	171,2	187,5
11.00	5,09%	20,0	0,3	56,0	76,3	62,5	247,5	249,9
12.00	3,61%	20,0	0,1	34,0	54,1	62,5	301,6	312,4
13.00	2,60%	20,0	1,0	18,0	39,0	62,5	340,6	374,9
14.00	5,23%	20,0	0,4	58,0	78,4	62,5	419,0	437,4
15.00	4,01%	20,0	0,1	40,0	60,1	62,5	479,1	499,9
16.00	3,61%	20,0	0,3	23,0	54,2	62,5	533,3	562,4
17.00	5,95%	20,0	0,2	69,0	89,2	62,5	622,5	624,8
18.00	3,67%	20,0	0,9	35,0	55,0	62,5	677,5	687,3
19.00	2,63%	20,0	0,5	19,0	39,5	62,5	717,0	749,8
20.00	5,81%	20,0	0,2	67,0	87,2	62,5	804,2	812,3
21.00	4,29%	20,0	0,3	44,0	64,3	62,5	868,5	874,8
22.00	2,67%	20,0	0,1	20,0	40,1	62,5	908,6	937,3
23.00	5,61%	20,0	1,1	63,0	84,1	62,5	992,7	999,7
24.00	4,77%	20,0	0,6	51,0	71,6	62,5	1064,3	1062,2
01.00	2,95%	20,0	0,3	24,0	44,3	62,5	1108,6	1124,7
02.00	5,01%	20,0	0,1	55,0	75,1	62,5	1183,7	1187,2
03.00	4,68%	20,0	0,2	42,0	70,2	62,5	1253,9	1249,7
04.00	4,19%	20,0	0,9	38,0	62,9	62,5	1316,8	1312,2
05.00	3,57%	20,0	0,6	68,0	53,6	62,5	1370,4	1374,6
06.00	5,87%	20,0	0,1	47,0	88,1	62,5	1458,5	1437,1
07.00	2,74%	20,0	0,1	21,0	41,1	62,5	1499,6	1499,6
TOTAL	100%	480,0	9,6	1002,0	1499,6	1499,6		

Tabel 4.3 Data parameter dan kemampuan removal bak ekualisasi

Jam	Volume masuk m3/jam	Volume keluar m3/jam	Volume tersimpan m3/jam	Beban Masuk			Mass loading tanpa equalisasi			Equalized			Mass loading		
				COD	BOD	TSS	COD	BOD	TSS	COD	BOD	TSS	Equalized COD	Equalized BOD	Equalized TSS
				mg/l	mg/l	mg/l	kg/jam	kg/jam	kg/jam	mg/l	mg/l	mg/l	kg/jam	kg/jam	kg/jam
13.00	39,00	62,48	0,00	926,98	463,49	1002,99	36,15	18,08	39,12	926,98	463,49	1002,99	36,15	28,96	0,00
14.00	78,40	62,48	15,92	1043,22	347,39	1147,54	81,79	27,24	89,97	1043,22	456,16	1007,79	81,79	28,50	16,04
15.00	60,10	62,48	13,53	861,47	286,87	915,74	51,77	17,24	55,04	899,53	343,97	1138,85	54,06	21,49	15,41
16.00	54,20	62,48	5,25	764,23	382,12	826,90	41,42	20,71	44,82	783,66	293,31	914,15	42,47	18,33	4,80
17.00	89,20	62,48	31,97	942,09	471,05	1036,30	84,03	42,02	92,44	932,20	388,84	843,06	83,15	24,30	26,95
18.00	55,00	62,48	24,49	1002,63	333,88	1065,80	55,14	18,36	58,62	980,38	462,51	1037,76	53,92	28,90	25,41
19.00	39,50	62,48	1,50	851,44	283,53	921,26	33,63	11,20	36,39	909,30	330,92	1065,15	35,92	20,68	1,60
20.00	87,20	62,48	26,22	624,55	312,28	687,01	54,46	27,23	59,91	628,39	285,49	901,43	54,80	17,84	23,63
21.00	64,30	62,48	28,04	1103,90	551,95	1092,86	70,98	35,49	70,27	965,06	334,07	720,44	62,05	20,87	20,20
22.00	40,10	62,48	5,65	1021,43	340,14	1105,19	40,96	13,64	44,32	1055,36	540,60	1092,99	42,32	33,78	6,18
23.00	84,10	62,48	27,27	951,60	316,88	1046,76	80,03	26,65	88,03	956,00	338,80	1100,85	80,40	21,17	30,02
24.00	71,60	62,48	36,39	667,21	333,61	709,24	47,77	23,89	50,78	745,65	317,91	1012,00	53,39	19,86	36,82
01.00	44,30	62,48	18,20	818,62	409,31	885,75	36,26	18,13	39,24	750,34	340,09	718,38	33,24	21,25	13,08
02.00	75,10	62,48	30,82	732,43	243,90	805,67	55,01	18,32	60,51	749,25	397,58	880,14	56,27	24,84	27,13
03.00	70,20	62,48	38,54	1189,26	396,02	1046,55	83,49	27,80	73,47	1049,88	255,86	838,54	73,70	15,99	32,32
04.00	62,90	62,48	38,96	992,60	496,30	1073,99	62,43	31,22	67,55	1067,31	401,03	1049,01	67,13	25,06	40,86
05.00	53,60	62,48	30,07	947,73	473,87	1042,50	50,80	25,40	55,88	966,62	494,97	1072,19	51,81	30,93	32,24
06.00	88,10	62,48	55,69	612,78	204,06	651,39	53,99	17,98	57,39	698,02	457,18	1001,37	61,50	28,57	55,77
07.00	41,10	62,48	34,31	1009,33	336,11	1092,10	41,48	13,81	44,89	781,17	216,27	714,81	32,11	13,51	24,52
08.00	70,80	62,48	42,62	944,41	472,21	1038,85	66,86	33,43	73,55	965,60	344,04	1086,10	68,36	21,50	46,29
09.00	58,10	62,48	38,24	894,41	447,21	950,76	51,97	25,98	55,24	915,57	470,65	1032,25	53,19	29,41	39,47
10.00	42,30	62,48	18,06	991,51	330,17	1072,81	41,94	13,97	45,38	945,41	439,56	955,49	39,99	27,47	17,25
11.00	76,30	62,48	31,87	987,43	328,81	1086,17	75,34	25,09	82,87	988,21	330,09	1073,99	75,40	20,63	34,23
12.00	54,10	62,48	23,49	896,61	448,31	953,10	48,51	24,25	51,56	930,28	335,93	1077,30	50,33	20,99	25,31
TOTAL	1499,60	1499,59	55,69	1189,26	551,95	1147,54	84,03	42,02	92,44	1067,31	540,60	1138,85	83,15	33,78	55,77

*tabel bertanda menjelaskan angka maksimum

4.4.3 Perancangan Unit Koagulasi

Unit koagulasi ini adalah suatu reaktor dimana dilakukan kontak terhadap air limbah dan juga koagulan, kadar dan juga jenis koagulan yang dipakai adalah FeCl_3 , $\text{Ca}(\text{OH})_2$, dan garam Ca^{2+} dan Mg^{2+} seperti yang telah ditunjukkan pada subbab sebelumnya. Reaktor didesain dengan kriteria pada **Tabel 3.3**.

Reaktor koagulasi didesain dengan debit masuk sebesar 1500 m³/hari, bentuk reaktor persegi dengan rasio panjang : lebar 1:1, cepat pengendapan 213,36 m/s, menggunakan turbin dengan kecepatan 100 rpm dan waktu detensi selama 5 menit. Detail perhitungan pada Lampiran III dan menghasilkan bak reaktor koagulasi dengan dimensi seperti ditunjukkan pada **Tabel 4.4**. %*cross section area* yang diperoleh dari hasil perhitungan sebesar 19,87%. Kecepatan putaran yang dibutuhkan untuk mereaksikan koagulan 1,667 rpm. Kriteria desain menstandarkan selang *cross section area* berkisar antara 15%-20% dan kecepatan putaran impeller 1,11 rpm - 4,44 rpm. Maka dari itu unit koagulasi yang dirancang telah sesuai dengan kriteria desain.

Tabel 4.4 Hasil perhitungan dimensi unit koagulasi

Parameter	Nilai	Kriteria desain
Volume bak (m ³)	5,2	
Sisi bak (m)	1,61	
Kedalaman bak (m)	2	
Total power (hp)	2,23	
Diameter impeller (m)	0,68	
Jenis aliran	Turbulen	
Nilai Ga (m ³ /s)	11,48	
Luas blade (m ²)	0,64	
% <i>cross section area</i>	19,87	15%-20%
Power yang disalurkan (hp)	4,22	
Kecepatan putaran (rpm)	1,667	1,11-4,44

4.4.4 Perancangan Unit Flokulasi

Kriteria desain untuk unit flokulasi ini tidaklah memiliki perbedaan yang signifikan apabila dibandingkan dengan unit koagulasi. Perbedaan hanya terletak pada kecepatan pengadukan. Pada unit flokulasi ini dilakukan pengadukan lambat agar flok yang di hasilkan dari proses sebelumnya tidak hancur. Pada proses ini dilakukan penambahan bahan kimia berupa *polyelectrolyte*. *Polyelectrolite* berfungsi untuk memperbesar flok yang dihasilkan oleh proses koagulasi, sehingga proses pengendapan akan menjadi lebih cepat.

Reaktor flokulasi didesain dengan debit masuk sebesar 1500 m³/hari, bentuk reaktor persegi dengan rasio panjang : lebar 1:1. Diasumsikan baling-baling dengan $D_1 = 0,8$ m dan $D_2 = 1$ dan panjang 1 m. Baling-baling yang digunakan terdiri dari 2 baling-baling per shaft. Detail perhitungan tercantum pada lampiran III dan menghasilkan bak reaktor Flokulasi dengan dimensi seperti ditunjukkan pada **Tabel 4.5**

Tabel 4.5 Hasil perhitungan dimensi unit flokulasi

Parameter	Nilai	Kriteria desain
Volume bak (m ³)	5,2	
Sisi bak (m)	1,61	
Kedalaman bak (m)	2	
Total power (hp)	2,23	
Diameter baling (m)	1 m	
Jenis aliran	Turbulen	
Nilai Ga (m ³ /s)	11,48	
Luas blade (m ²)	0,64	
%cross section area	19,87	15%-20%
Power yang disalurkan (hp)	4,22	
Kecepatan putaran (rpm)	1,44	1,11-4,44

%*cross section area* yang diperoleh dari hasil perhitungan sebesar 19,87%. Kecepatan putaran yang dibutuhkan untuk mereaksikan koagulan 1,44 rpm. Kriteria desain menstandarkan selang *cross section area* berkisar antara 15%-20% dan kecepatan putaran impeller 1,11rps - 4,44 rps. Maka dari itu unit koagulasi yang dirancang telah sesuai dengan kriteria desain.

4.4.5 Perancangan Unit Primary clarifier

Fungsi *primary clarifier* pada perancangan unit pengolahan air limbah ini adalah untuk mengendapkan flok atau sludge yang dihasilkan oleh proses sebelumnya yaitu proses kimia fisika. Perancangan unit *primary clarifier* berpatokan pada kriteria desain yang telah ditentukan pada **Tabel 3.11**.

Dari kriteria desain tersebut maka dirancang sebuah unit *primary clarifier* dengan debit 1500 m³/ hari, bak di desain dengan kemampuan kadar TSS sebesar 1000 mg/L, dengan % removal sebesar 90%. Dari hasil uji laboratorium, diketahui berat jenis lumpur 1030 kg/m³, kadar lumpur 7% dan waktu detensi selama 9000 s. Setelah menentukan desain awal, dilakukan perhitungan pada Lampiran III. Perhitungan menghasilkan dimensi bak seperti pada **Tabel 4.10**. **Tabel 4.6** pada kolom nilai merupakan dimensi *primary clarifier* yang telah dirancang dengan detail perhitungan pada Lampiran III. Sedangkan untuk kolom kriteria desain tertulis standar yang harus dicapai oleh *primary clarifier*. Dari kedua kolom tersebut dapat diketahui bahwa rancangan bak ekualisasi telah memenuhi kriteria desain

Tabel 4.6 Hasil perhitungan dimensi unit *primary clarifier*

Parameter	Nilai	Kriteria desain
Debit rata-rata (m³/s)	0,0174	
Waktu detensi (jam)	2,5	1,5-2,5
Surface loading (m³/m² d)	38,99	30-50
Diameter bak (m)	7	3,6-60
Kedalaman bak (m)	4	3-5
Volume bak (m³)	154	
Keliling bak (m)	21,98	
Overflow rate (m³/m² d)	39,997	
Produksi lumpur (kg/hari)	1500	
Debit lumpur (m³/s)	18,72	
Diameter pipa influen (m)	0,3	
Diameter feedwell (m)	0,7	
Volume feedwell (m³)	1,044	
Kedalaman feedwell (m)	2,71	
Panjang weir (m)	12	
Elevasi weir (m)	3,9	
Jumlah weir	48	
Debit weir (m³/s)	0,0003625	
Daya pompa (kwh)	0,879	
Headloss (m)	0,000006	

4.4.6 Perancangan Unit Biologi

Unit biologi ini menggunakan bak aerasi dengan bentuk persegi panjang dengan alat penunjang berupa *surface aerator*. Proses biologi dilakukan dengan metode lumpur aktif. Tujuan dari adanya proses ini adalah untuk menurunkan kadar BOD agar sesuai dengan regulasi yang tertulis dalam pergub no 72 tahun 2013 tentang Baku Mutu Limbah Cair.

Tabel 4.7 Kriteria desain unit biologi

Parameter	Kode	Satuan	Kriteria desain	Sumber
Umur lumpur	q_c	hari	20-40	Metcalf&Eddy, 2004
<i>Food to microorganism</i>	F/M		0,2-0,4	WEF (2008)
Beban BOD		Kg/m ³ .d	0,1-0,3	Metcalf&Eddy, 2004 Tom D Reynold & Paul A. Richard,1995
		Kg/m ³ .d	0,16-0,4	
Periode aerasi		Jam	20-30	Qasim 1985
Ratio Sirkulasi Lumpur	$\frac{Q_{lumpur}}{Q_{limbah}}$		0,5-2	Tom D Reynold & Paul A. Richard,1995
<i>Endogenous Rate Constant</i>	<i>Decay</i> Kd	/hari	0,03-0,07	Metcalf&Eddy, 2004
<i>Yield Coefficient</i>	Y		0,4-0,8	
MLVSS	X	Mg/L	4000-12000	
Efisiensi Pengolahan BOD ₅		%	85-95	
Waktu tinggal hidrolis bak		Jam	20-30	Metcalf&Eddy, 2004
<i>Volumetric loading</i>		Kg/m ³ .d	0,3-0,8	Tom D Reynold & Paul A. Richard,1995
Qresirkulasi/Q	Qr/Q		0,25-1	Metcalf&Eddy, 2004

Pemilihan metode lumpur aktif didasarkan Karena ketersediaan lahan yang memadai, biaya operasional yang relatif lebih rendah, serta kemampuannya yang sesuai dengan karakteristik air limbah. **Tabel 4.7** akan menyajikan data kriteria desain sebagai acuan perancangan.

Dari kriteria desain tersebut maka ditentukan desain awal sebagai berikut :

- Sistem yang diterapkan : *extended aeration*
- Umur lumpur (q_c) : 25 hari
- MLVSS (X) : 4000
- MLVSS/MLSS : 0,8
- p : l : 3 : 1
- Kedalaman tangka : 3 m
- Y : 0,5 mg VSS / mg BOD₅
- Kd : 0,06/hari
- Kelarutan O₂ didalam tangki : 8,5 mg/L
- Kelarutan O₂ didalam air : 9,15 mg/L
- Jumlah DO : 2 mg/L
- Faktor tekanan sanitasi permukaan : 0,8
- Faktor tekanan sanitasi beda lingkungan : 0,95
- Suhu air buangan : 24°C
- Berat udara : 1,2
- Kandungan O₂ didalam udara : 21% kg/m³
- Efisiensi difusi udara : 8 %
- Kebutuhan udara : 150% udara teoritis
- Q yang direncanakan : 1500 m³/hari

Desain awal yang telah ditentukan selanjutnya akan dilakukan perhitungan pada Lampiran III dan menghasilkan suatu kolam aerasi dengan spesifikasi pada **Tabel 4.8**.

Tabel 4.8 Hasil perhitungan dimensi unit Biologi

Parameter	Nilai
BOD₅ (lumpur)	30,899
BOD₅ terlarut (S)	9,1
Efisiensi BOD removal	95%
Debit tiap tangki, m³/s	0,0174
Volume reaktor, m³	1425
Luas reaktor (A), m²	475
Lebar reaktor (l), m	12,6
Panjang reaktor (p), m	37,8
Waktu detensi (td), jam	23,8
F/M rasio	0,2
Volumetric loading, kg/m³.hari	0,8
Y_{obs}	0,2
P_x, kg/hari	237
MLSS, mg/L	189,6
Q_r/Q, m³/s	0,944
Q_r, m³/s	0,0164
Waktu aerasi, jam	22,8
Kebutuhan O₂ teoritis, kg/hari	840.768
SOR, kg/hari	1277,76
Kebutuhan udara, m³/hari	5070, 48
Kebutuhan aerator	4

4.4.6 Secondary Clarifier

Secondary clarifier dalam perancangan ini memiliki fungsi utama untuk mengendapkan lumpur dari proses aerasi. *Secondary clarifier* dirancang dengan bentuk sirkular. Dari perhitungan pada lampiran III diketahui dimensi *secondary clarifier* sebagai berikut :

- Volume bak : 235,6 m³
- Diameter bak : 13 m
- Waktu detensi : 3,5 jam
- Overflow rate : 0,94 m³/m².jam

- Solid loading rate : 113,3 kg/m².hari

Perancangan yang diusulkan diharapkan dapat menghasilkan air limbah dengan parameter sesuai dengan aturan pemerintah sebagaimana yang tertulis dalam PERGUB Jatim No. 72 tahun 2013 tentang Baku Mutu Air Limbah Bagi Kegiatan Industri dan / Kegiatan Usaha dengan rincian seperti pada **Tabel 4.9** .

Tabel 4.9 Karakteristik efluen yang direncanakan

Parameter	Nilai
COD	< 150 mg/L
BOD	< 60 mg/L
TSS	< 50 mg/L
Warna	< 200
pH	7
Suhu	25°C

4.5 Penggunaan utilitas pada IPAL eksisting dan IPAL rencana

Utilitas adalah semua sarana penunjang dalam suatu kegiatan. Dalam instalasi pengolahan air limbah perancangan utilitas akan menentukan apakah proses dapat berjalan dengan baik atau tidak. Penggunaan utilitas dapat berbeda pada setiap rancangan instalasi pengolahan air limbah. Evaluasi dan pembaruan yang dilakukan bertujuan untuk meminimalkan penggunaan utilitas dengan tetap mempertahankan kualitas efluen dari suatu instalasi pengolahan air limbah. **Tabel 4.10** akan membandingkan utilitas yang telah digunakan di PT Behaestex Pandaan dengan yang akan digunakan pada IPAL yang diusulkan. Hal ini dilakukan agar dapat diketahui seberapa

besar IPAL yang di usulkan dapat menghemat pemanfaatan peralatan dari IPAL eksisting.

Tabel 4.11 menyebutkan bahwa untuk IPAL eksisting dan IPAL rencana memiliki perbedaan dalam hal penggunaan peralatan utama dan pendukung. Pada IPAL ekstisting terdapat unit yang akan dihilangkan pada IPAL yang diusulkan. Unit tersebut adalah 1 unit bak ekualisasi, 1 unit bak aerasi, bak sedimentasi, bak *spray*, *cooling tower*, lamela tank, 4 unit pompa *centrifugal*, dan 2 unit aerator. Selain itu terdapat beberapa penambahan unit alat pada IPAL yang direncanakan yang bertujuan untuk meningkatkan kemampuan IPAL dalam mengolah air limbah.

Penambahan unit alat antara lain 1 unit *scraper* , 1 unit *Submersible pump*, 2 unit *sump tank* untuk menggantikan tangki lamela pada IPAL eksisting, *primary clarifier* untuk menggantikan bak sedimentasi pada IPAL eksisting, *dosing pump*, dan *sludge dryer*. Selanjutnya untuk mengetahui kemampuan IPAL rencana menghemat biaya operasional akan dibahas secara ekonomi pada subbab selanjutnya.

4.6 Perbandingan biaya operasional IPAL rencana dan eksisting

Perhitungan terhadap perbandingan biaya operasional IPAL rencana dan eksisting ini dilakukan untuk mengetahui seberapa besar IPAL bulanan rencana dapat menekan biaya operasional bulanan dibandingkan dengan IPAL eksisting. Data biaya operasional IPAL eksisting diperoleh dari data keuangan bulanan departemen *engineering* PT Behaestex Pandaan Berikut adalah **Tabel 4.12** perbandingan biaya operasional antara IPAL eksisting dan IPAL rencana.

Tabel 4.10 Perbandingan penggunaan utilitas pada IPAL eksisting dan IPAL yang direncanakan

No	Utilitas	Jumlah			
		Eksisting		Rencana	
		Jumlah	Volume (m ³)	Jumlah	Volume (m ³)
1.	<i>Equalisazion tank</i>	2	865	1	55,69
2.	<i>coagulation tank</i>	1	4	1	5,2
3.	<i>flocculation tank</i>	1	4	1	5,2
4.	<i>Primary Clarifier</i>	-	-	1	154
5.	Bak sedimentasi	1	202,5	-	-
6.	Bak <i>spray</i>	1	220,8	-	-
7.	<i>Cooling tower</i>	1	90	-	-
8.	<i>Lamela tank</i>	1		-	-
9.	<i>Sump tank</i>	-	-	2	
10.	<i>Aeration Tank</i>	2	1510	1	1425
11.	<i>Secondary Clarifier</i>	1	235,6	1	264,9
12.	<i>Carbon filter</i>	3	12	3	12
13.	<i>Beltpress</i>	1		1	
14.	<i>Bar screen</i>	1		1	
15.	<i>Aerator</i>	8		6	
16.	<i>Lime solution tank</i>	1	3	1	3
17.	<i>FeCl3 tank</i>	1		1	
18.	<i>Polyelectrolite tank</i>	1		1	
19.	<i>Centrifugal Pump</i>	6		2	
20.	<i>Submersible Pump</i>	3		4	
21.	<i>Mixer</i>	4		4	
22.	<i>Dosing pump</i>	-		1	
23.	<i>Urea solution tank</i>	1		1	
24.	<i>TSP solition tank</i>	1		1	
25.	DO meter	1		1	
26.	<i>Flow meter</i>	2		2	
27.	<i>Sludge dryyer</i>	-	-	1	
28.	<i>Scrapper</i>	1		2	
29.	Bak stabilisasi	1	96	-	

Tabel 4.12 Perbandingan biaya operasional bulanan antara IPAL eksisting dengan IPAL rencana

	Item	Satuan	Eksisting	Rencana desain	Deviasi
I	Power	Kwh	235	150	85
	Harga power	Rp/kwh	Rp 1.475	Rp 1.475	
	Biaya power (kwhx harga kwhx 24x30)	Rp/Bln	Rp 249.570.000	Rp 159.300.000	Rp 90.270.000
II	Konsumsi bahan kimia				
	1. FeCl3	l/m ³	2	2	
	Harga per liter	Rp/ltr	Rp 500	Rp 500	
	Biaya perbulan (Dosis x harga x 1500 x 30)		Rp 45.000.000	Rp 33.750.000	Rp 11.250.000
	2. Kapur	kg/m ³	1	1	
	Harga per kg	Rp/kg	Rp 1.200	Rp 1.200	
	Biaya perbulan (Dosis x harga x 1500 x 30)	Rp/bulan	Rp 48.600.000	Rp 43.200.000	Rp 5.400.000
III	Pengangkutan sludge	kg/hari	Rp 10.000	Rp 3.500	Rp 6.500
	Harga	Rp/kg	Rp 2.500	Rp 2.500	
	Biaya perbulan (produksi sludge perhari x biaya/kg x 30)	Rp/bln	Rp 750.000.000	Rp 262.500.000	Rp 487.500.000
	Total biaya kotor				Rp 594.420.000
IV	Biaya oprasional sludge dryer				
	Bahan Bakar	m ³ /jam		150	
	Harga	Rp/m ³		Rp 3.700	
	Biaya/bulan (Kebutuhan/jam x 24 x 30x harga satuan)			Rp 399.600.000	Rp 399.600.000
	Tenaga kerja	Orang		4	
	Upah/bulan	Rp		Rp 3.200.000	
	Total biaya tenaga kerja (jumlah tenaga kerja x upah/bulan)	Rp		Rp 12.800.000	Rp 12.800.000
	Power yang dibutuhkan	Kwh		10	
	Biaya power /bulan (power yang dibutuhkanx 24x 30 x harga/kwh)	Rp		Rp 10.620.000	Rp 10.620.000
	Total biaya Oprasional sludge dryer	Rp			Rp 423.020.000
V	Total penghematan *)	Rp			Rp 171.400.000

*)Total biaya penghematan diperoleh dari penjumlahan angka deviasi pada tabel bertanda hijau – angka deviasi pada tabel bertanda merah

Tabel 4.12 berisi tentang rincian biaya operasional IPAL eksisting yang diperoleh dari data perusahaan PT Behaestex Pandaan dan juga rincian estimasi biaya operasional IPAL rencana yang kemudian di bandingkan untuk mengetahui seberapa besar kemampuan IPAL rencana untuk menghemat biaya operasional bulanan. Penghematan yang diestimasikan disajikan dalam rupiah atau biaya yang dikeluarkan untuk operasional IPAL. Penghematan menyangkut penggunaan daya listrik, bahan kimia, dan juga penurunan biaya pengangkutan tanpa mengesampingkan biaya pengolahan tambahan seperti *sludge dryer*. Dari **Tabel 4.12** dapat diketahui bahwa nilai penghematan kotor mencapai Rp 594.420.000,-. Namun, dalam IPAL juga terdapat penambahan unit pengolahan berupa *sludge dryer*. Tujuan dari penggunaan *sludge dryer* adalah untuk menurunkan kadar air *sludge* sehingga akan menurunkan biaya pengangkutan limbah B3 oleh pihak ketiga. *Sludge dryer* yang direncanakan menggunakan bahan bakar gas sebanyak 150 m³/jam dengan harga satuan Rp 3.700 / m³. Setelah dihitung, diketahui biaya operasional total dari *sludge dryer* memakan dana sebesar Rp 423.020.000,-/bulan. Maka dari itu dapat diestimasikan total biaya penghematan yang dihasilkan dari IPAL rencana sebesar Rp 171.400.000,- /bulan.

4.7 RAB/BOQ

Anggaran dana atau RAB dapat di estimasikan apabila dimensi unit dan juga utilitas pendukung telah diperhitungkan. Selain dimensi dan kebutuhan utilitas pendukung, hal lain yang perlu diketahui untuk memperkirakan anggaran dana adalah harga satuan material dan secara rinci pada lampiran V. Dalam anggaran dana ini, estimasi biaya mengacu pada petunjuk perhitungan harga satuan BSN dengan hasil perhitungan dapat dilihat di **Tabel 4.13**, **Tabel 4.14**, dan **Tabel 4.15**.

Tabel 4.13 Anggaran dana peralatan utama

No.	JMLH	NAMA ALAT	DIMENSI	Total harga
1	1	<i>Equalisazion tank</i>	4,6x4,6x 3	Rp 104.895.424
2	1	<i>coagulation tank</i>	1,25x1,62x1,25	Rp 37.012.038
3	1	<i>flocculation tank</i>	1,25x1,62x1,25	Rp 37.012.038
4	1	<i>Primary Clarifier</i>	d=7; t=4	Rp 339.216.595
		<i>Sump tank</i>	1x1x1	Rp 12.216.792
5	1	<i>Aeration Tank</i>	12,6x37,8x3	Rp 2.641.798.502
6	1	<i>Secondary Clarifier</i>	d=15 ; t=3	Rp 811.631.217
		<i>Sump tank</i>	1x1x1	Rp 12.216.792
7	3	<i>Carbon filter</i>	d=1,2 ; t=2	Rp 375.000.000
8	1	<i>Beltpress</i>		Rp 400.000.000
TOTAL				Rp 4.770.999.399

Tabel 4.14 Anggaran dana peralatan penunjang

No.	JUMLAH	NAMA ALAT	Harga Total
1	1	<i>Bar screen</i>	Rp 20.000.000
2	2	<i>Aerator</i>	Rp 250.000.000
3	4	<i>Aerator</i>	Rp 240.000.000
4	1	<i>Lime solution tank</i>	Rp 12.216.792
5	5	<i>FeCl3 tank</i>	Rp 40.000.000
6	1	<i>Polyelectrolite tank</i>	Rp 500.000
7	2	<i>Centrifugal Pump</i>	Rp 15.000.000
8	1	<i>Submersible Pump</i>	Rp 15.000.000
10	2	<i>Mixer</i>	Rp 5.000.000
12	1	<i>Dosing pump</i>	Rp 130.000.000
13	1	<i>Urea solution tank</i>	Rp 500.000
14	1	<i>TSP solition tank</i>	Rp 500.000
15	1	DO meter	Rp 25.000.000
16	2	<i>Flow meter</i>	Rp 32.000.000
17	1	<i>Sludge driyer</i>	Rp 400.000.000
18	2	<i>Scrapper</i>	Rp 400.000.000
Total			Rp 1.585.716.792

Tabel 4.15 Total anggaran dana pembangunan IPAL

No.	Item	Total biaya
1	Peralatan Utama	Rp 4.770.999.399
2	Peralatan penunjang	Rp 1.585.716.792
Total		Rp 6.356.716.190

Penyusunan BOQ bertujuan untuk mengestimasi total biaya yang dibutuhkan untuk membangun suatu instalasi pengolahan air limbah untuk rancangan yang diusulkan. Hal ini dimaksudkan untuk mempertimbangkan layak atau tidak suatu proyek dilaksanakan. Setelah dilakukan perhitungan secara rinci, diestimasi biaya yang dibutuhkan untuk membangun instalasi pengolahan air limbah yang diusulkan sebesar Rp6.356.716.190. Instalasi pengolahan air limbah juga direncanakan akan dapat menghemat biaya operasional hingga Rp 171.400.000,- /bulan. Maka dari itu dapat dikatakan bahwa rancangan IPAL yang diusulkan dapat menguntungkan bagi perusahaan karena dapat menghemat pengeluaran bulanan.

4.8 Layout rencana

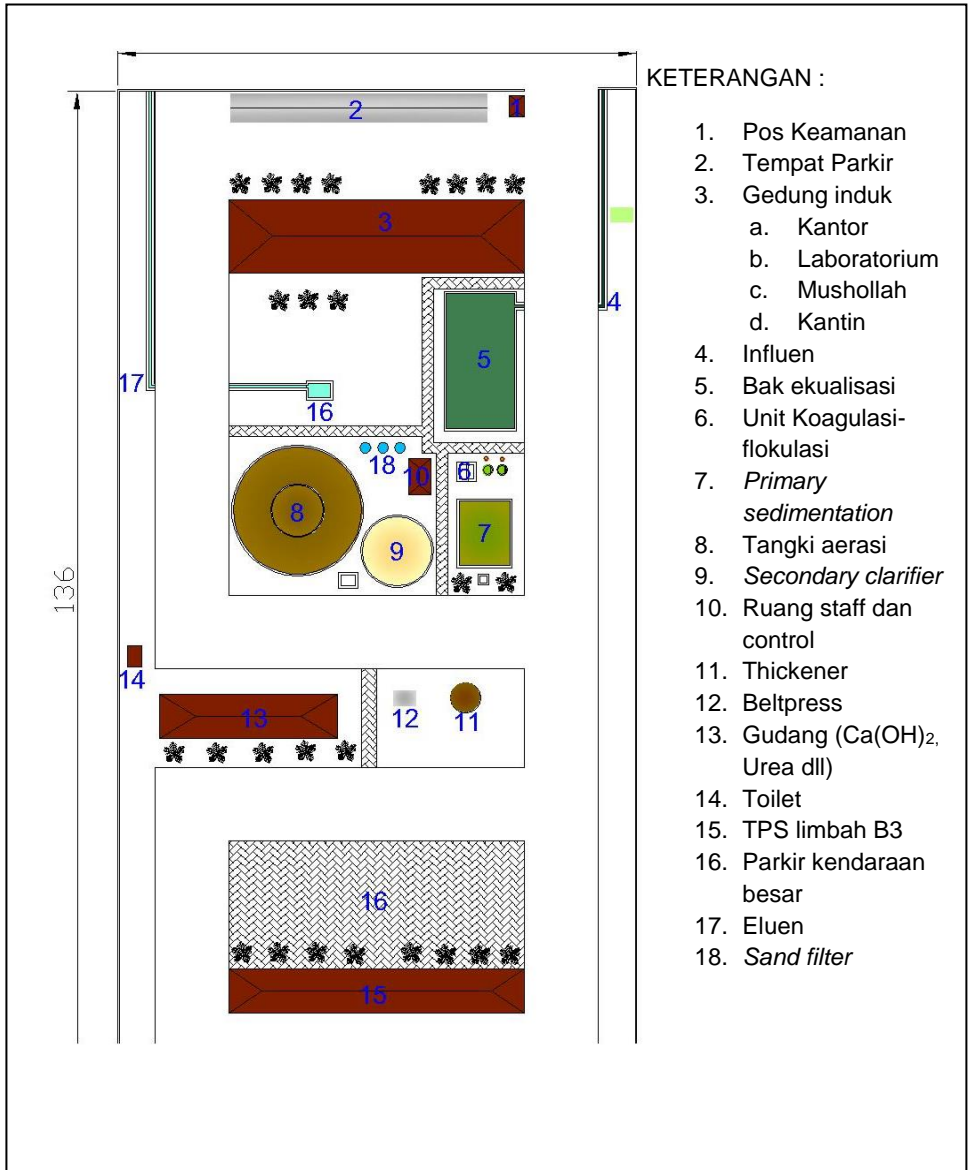
Permasalahan efisiensi energi dan juga sistem mobilisasi serta transportasi di PT Behaestex dapat diatasi dengan melakukan relokasi serta melakukan *re-layouting* Unit pengolahan air limbahnya, mengingat peletakan unit pengolahan air limbah PT Behaestex sebelumnya bersifat tambal sulam atau hanya mempertimbangkan ketersediaan lahan di are pabrik dan tidak mempertimbangkan konservasi energi. Relokasi dilakukan di lahan milik PT Behaestex yang terletak tepat di depan lokasi PT Behaestex Pandaan dengan luas lahan yang tersedia adalah 4 ha seperti . Lokasi ditunjukkan pada **Gambar 4.8**. Layout rencana

(ditunjukkan pada **Gambar 4.7**) ini mempertimbangkan efisiensi energi dalam hal ini pengurangan unit pompa dan tenaga kerja yang dibutuhkan. Selain itu peletakan unit juga mempertimbangkan kemudahan akses transportasi serta mobilisasi bahan dan modifikasi sistem koagulasi flokulasi dan *Sludge dewatering system* untuk peningkatan efisiensi sistem dan mereduksi kadar air dalam sludge buangan sehingga dapat menekan biaya operasional serta pengolahan limbah B3.



*lokasi pada gambar bertanda lingkaran merah

Gambar 4.6 Lokasi pembangunan IPAL



Gambar 4.7 Perencanaan layout unit pengolahan air limbah PT Behaestex Pandaan