

RANCANG BANGUN UNIT SEDIMENTASI RECTANGULAR PADA INSTALASI PENGOLAHAN AIR LIMBAH

Allen Kurniawan

Departemen Teknik Sipil dan Lingkungan, Fakultas Teknologi Pertanian,
Institut Pertanian Bogor, Bogor, Indonesia
allen.kurniawan@gmail.com

ABSTRAK

Bak pengendap atau bak sedimentasi berperan dalam memisahkan partikel tersuspensi (TSS) dari air limbah melalui pengendapan secara gravitasi. Ketika air limbah mengandung suspended solid masuk ke bak sedimentasi, padatan-padatan dengan berat jenis yang lebih besar dari air akan mengendap dan yang memiliki berat jenis lebih kecil dari air akan mengapung ke permukaan air. Tujuan penelitian ini merancang secara detil unit sedimentasi berdasarkan pengujian karakteristik air limbah maupun kriteria rancangan. Rancangan unit sedimentasi berbentuk rectangular (persegi). Berdasarkan hasil perhitungan, lebar bak sebesar 1,16 meter; panjang bak sebesar 3,49 meter; kedalaman air rata-rata sebesar 0,8 meter; freeboard sebesar 0,5 meter; laju limpasan pada debit rata-rata sebesar 21,312 m³/m².hari; waktu detensi pada debit rata-rata sebesar 0,90 jam; dimensi saluran influen untuk panjang sama dengan lebar sebesar 0,10 m; panjang weir sebesar 2,16 m; jumlah V-notch sebanyak 47 buah; lebar launder sebesar 0,1 m; lebar efluen box sebesar 0,2 m; diameter pipa outlet sebesar 0,1m; dan jumlah padatan per unit per hari sebesar 106,6 kg/hari.

Kata kunci: instalasi pengolahan air limbah, rancangan, rectangular, sedimentasi.

PENDAHULUAN

Pembuangan air limbah berasal dari kegiatan domestik (rumah tangga) maupun industri ke badan air menyebabkan pencemaran lingkungan apabila kualitas air limbah tidak memenuhi baku mutu. Teknologi pengolahan air limbah adalah kunci pemeliharaan kualitas lingkungan. Apapun jenis teknologi pengolahan air limbah domestik maupun industri harus dapat dioperasikan dan dipelihara oleh masyarakat setempat. Jadi, teknologi pengolahan terpilih harus sesuai dengan kemampuan masyarakat pengguna.

Dalam kegiatan industri, air limbah mengandung zat atau kontaminan dari sisa bahan baku, sisa pelarut atau bahan aditif, produk terbuang, pencucian dan pembilasan peralatan, *blowdown* beberapa peralatan seperti *kettle boiler* dan sistem pendingin, serta *sanitary waste*. Agar dapat memenuhi baku mutu, industri harus menerapkan prinsip pengendalian air limbah secara cermat dan terpadu, baik di dalam proses produksi (*in-pipe pollution prevention*) ataupun setelah proses produksi (*end-pipe pollution*). Pengendalian dalam proses produksi bertujuan untuk meminimalkan volume air limbah dan

reduksi toksisitas kontaminan, sedangkan pengendalian setelah proses produksi bertujuan untuk menurunkan kadar bahan pencemar sehingga memenuhi standar baku mutu.

Pengolahan air limbah terbagi menjadi tiga metode, yaitu fisika, kimiawi, dan biologis. Ketiga metode tersebut dapat dikombinasikan secara bersamaan atau diaplikasikan tersendiri. Salah satu unit pengolahan fisika adalah sedimentasi. Unit ini diwajibkan di dalam konfigurasi pengolahan. Unit sedimentasi berfungsi untuk mengurangi kandungan *Total Suspended Solid* (TSS), sebagian padatan organik dalam air buangan, dan menurunkan BOD, melalui proses fisik tanpa pembubuhan zat kimia. Lumpur endapan masih mengandung material organik yang tinggi sehingga efluen lumpur dialirkan ke unit *sludge thickener*, sedangkan filtrat dialirkan ke pengolahan berikutnya. Bak pengendap pertama sering dibuat dalam bentuk persegi panjang (*rectangular*) agar dihasilkan efisiensi tinggi dengan biaya konstruksi murah dan kebutuhan lahan sedikit. Prinsip pemisahan partikel tersuspensi dalam cairan tergantung pada besarnya *specific gravity* partikel tersebut. Jika cairan mengandung tersuspensi ditempatkan pada tempat yang tenang, partikel tersuspensi dengan *specific gravity* lebih besar dari cairan akan terendapkan, sedangkan partikel tersuspensi *specific gravity* lebih kecil dari cairan akan terapung.

Selama ini, rancangan satu jenis unit pengolahan jarang sekali dipublikasi karena perencanaan unit merupakan hal yang umum dilakukan. Namun, perkembangan teknologi akan mengubah mekanisme dan modifikasi rancangan pengolahan sehingga informasi sekecil apapun sangat diperlukan untuk memberikan input perubahan terhadap rancangan terkini. Atas dasar deksripsi permasalahan tersebut, tujuan penelitian ini merancang secara detil unit sedimentasi berdasarkan pengujian karakteristik air limbah maupun kriteria rancangan. Makalah ini diharapkan memberikan informasi lengkap mengenai teknis rancangan unit sedimentasi.

METODE PENELITIAN

Penelitian ini menggunakan contoh uji air limbah pada salah satu industri di bidang penyedia produk perawatan tubuh dan cairan pencuci piring terkemuka di Jakarta. Pengambilan contoh uji dilakukan selama enam jam pada rentang waktu satu minggu sehingga karakteristik air limbah dari seluruh variasi jenis proses diharapkan dapat terwakili. Contoh uji dibawa ke laboratorium untuk mengetahui karakteristik fisik, kimiawi, dan biologis. Evaluasi kualitas air limbah dilakukan dengan membandingkan hasil analisis karakteristik dengan standar kualitas baku mutu. Evaluasi ini dilakukan untuk menentukan karakteristik air limbah yang perlu diolah dan perkiraan efisiensi pengolahan.

Alternatif unit pengolahan pada air limbah diperlukan untuk menganalisis reduksi bahan-bahan organik hasil penguraian biologis dan organisme patogen sehingga IPAL perlu direncanakan untuk menjalankan fungsi-fungsi tersebut. Dalam pemilihan alternatif pengolahan, jenis pencemar tertentu dapat menyebabkan permasalahan berbeda-beda sehingga pemilihan unit operasi dan unit proses perlu dilakukan dengan cermat untuk mereduksi pencemar spesifik tersebut.

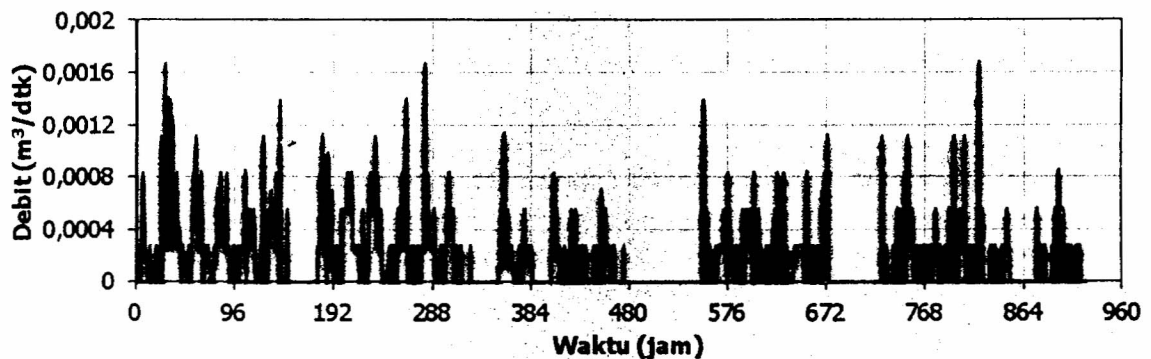
Setelah alternatif pengolahan berdasarkan karakteristik air limbah diketahui, kesetimbangan massa (*mass balance analysis*) perlu dibuat untuk mengetahui konsentrasi substansi yang mengalami perubahan pada setiap unit pengolahan. Pada model reaktor *completely mixed* dan unit pengolahan awal, nilai perpindahan substansi di dalam reaktor harus seimbang dengan jumlah sisa produksi yang dihasilkan oleh proses fisik dan kimiawi. Pada penelitian ini, hasil substansi secara detil berupa jumlah debit, padatan, dan substrat yang masuk dan keluar dari setiap unit pengolahan air limbah hanya tertuju pada unit sedimentasi. Kemudian, hasil perhitungan kesetimbangan massa

digunakan sebagai acuan dasar perhitungan rancangan unit sedimentasi rectangular. Sebagian hasil perhitungan dibuat visualisasi gambar rancangan melalui program Autocad.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Kuantitas air limbah

Debit air limbah perlu diketahui untuk menentukan kapasitas maksimum unit instalasi secara tepat sesuai kebutuhan terkini dan masa depan. Berdasarkan analisis penentuan debit air limbah setiap hari di lapangan tanggal 4 Agustus hingga 9 September 2014 melalui pembacaan di *flowmeter*, debit air limbah industri diperoleh sebesar 120 m³/hari. Fluktuasi debit disajikan dalam Gambar 1.



Gambar 1 Fluktuasi debit air limbah industri selama kurang lebih satu minggu

Kualitas air limbah

Untuk merancang unit IPAL, tidak hanya kuantitas air limbah, tetapi data kualitas air limbah berupa karakteristik fisik, kimia, dan biologis, perlu diketahui. Karakteristik tersebut mencakup zat, senyawa, atau partikel di dalam air limbah. Komponen tersebut berkaitan dengan penentuan jenis rancangan unit operasi maupun unit proses dan hasil kualitas efluen dari IPAL.

Tabel 2 Karakteristik air limbah industri

No	Parameter	Nilai	Baku Mutu	Keterangan
PARAMETER FISIKA				
1	Suhu (°C)	31	38 ¹⁾	**
2	Total Suspended Solid (TSS, mg/l)	390	100 ¹⁾	Diolah
PARAMETER KIMIAWI				
3	Nitrit (NO ₂ , mg/l)	0,04	1 ¹⁾	**
4	Nitrat (NO ₃ -N, mg/l)	1,7	10 ¹⁾	**
5	Amonia (NH ₃ , mg/l)	1,2	5 ¹⁾	**
6	Total Fosfor (TPO ₄ , mg/l)	65,25	-	*
7	Hidrogen Sulfida (H ₂ S sebagai S, mg/l))	7,9	-	*
8	pH	5	6 - 9 ^{1) 2)}	**
9	Dissolved Oxygen (DO, mg/l)	2,3	-	*
10	Biochemical Oxygen Demand (BOD,	1050	50 ²⁾	Diolah
11	mg/l)	13736	100 ^{1) 2)}	Diolah
12	Chemical Oxygen Demand (COD, mg/l)	9,1	1 ¹⁾	Diolah
13	Deterjen (MBAS,mg/l)	2,9	-	*

14	Fenol (C ₆ H ₅ OH, mg/l)	278	-	*
15	Minyak dan lemak	0,015	0,1 ¹⁾	**
16	Timbal (Pb, mg/l)	0,004	0,05 ¹⁾	**
17	Kadmium (Cd, mg/l)	0,01	0,5 ¹⁾	**
18	Krom (Cr, mg/l)	< 0,01	0,1 ¹⁾	**
19	Krom heksavalen (Cr ⁶⁺ , mg/l)	4,7	2 ¹⁾	**
20	Seng (Zn, mg/l)	0,02	1 ¹⁾	**
21	Tembaga (Cu, mg/l)	0,004	0,1 ¹⁾	**
	Nikel (Ni, mg/l)			

Keterangan :

Standar baku mutu **Keputusan Gubernur Provinsi Daerah Khusus Ibukota Jakarta Nomor 582 Tahun 1995** tentang *Penetapan Peruntukan dan Baku Mutu Air Sungai/Badan Air serta Baku Mutu Limbah Cair di Wilayah Daerah Khusus Ibukota Jakarta*.

Standar baku mutu **Peraturan Menteri Negara Lingkungan Hidup Nomor 3 Tahun 2010** tentang *Baku Mutu Air Limbah Bagi Kawasan Industri*.

*Kedua baku mutu tidak mencakup parameter yang terkandung dalam air limbah

**Parameter ini tidak melewati baku mutu sehingga tidak dibutuhkan pengolahan.

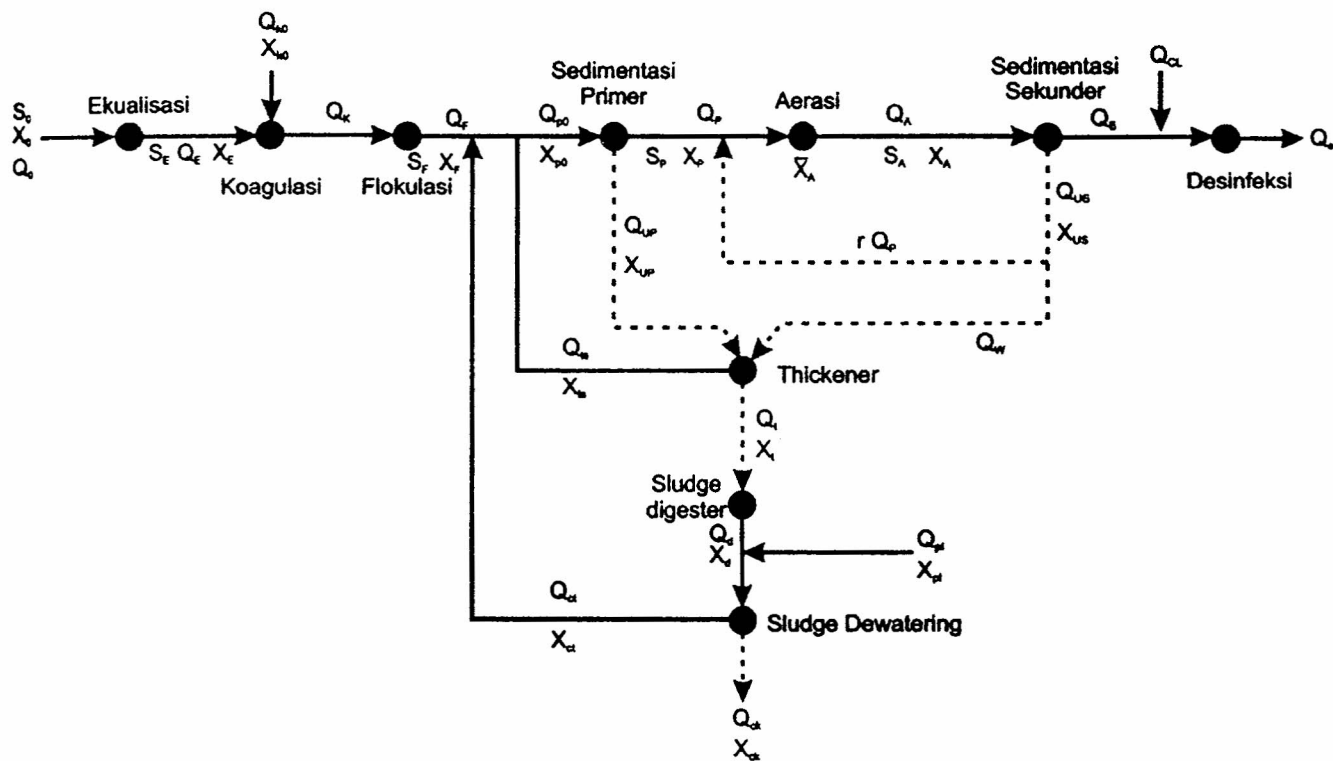
Standar efluen merupakan ambang batas atau baku mutu konsentrasi air limbah yang boleh dikeluarkan dan dibuang ke badan air penerima tanpa memperhatikan kondisi badan air penerima. Dalam evaluasi penggunaan standar ini, kualitas badan air penerima tidak perlu diperhatikan. Baku mutu dalam standar ini langsung dibandingkan dengan kualitas efluen. Apabila kualitas efluen melebihi baku mutu, pengolahan diperlukan dalam mereduksi parameter atau unsur tersebut sehingga baku mutu dapat terpenuhi. Pada proses rancangan IPAL, standar efluen digunakan untuk mengevaluasi kualitas air limbah dengan pertimbangan penggunaan standar lebih ketat dibandingkan dengan penggunaan standar *stream*. Bangunan unit IPAL dirancang untuk menangani kualitas air limbah yang paling ekstrim sehingga parameter air limbah akan dibandingkan saat konsentrasi maksimum. Pada Tabel 2, karakteristik air limbah industri dibandingkan terhadap baku mutu **Keputusan Gubernur Provinsi Daerah Khusus Ibukota Jakarta Nomor 582 Tahun 1995** tentang *Penetapan Peruntukan dan Baku Mutu Air Sungai/Badan Air serta Baku Mutu Limbah Cair di Wilayah Daerah Khusus Ibukota Jakarta*, serta **Peraturan Menteri Negara Lingkungan Hidup Nomor 3 Tahun 2010** tentang *Baku Mutu Air Limbah Bagi Kawasan Industri*. Pemilihan baku mutu berdasarkan nilai terketat antara kedua regulasi tersebut.

Berdasarkan Tabel 2, beberapa parameter air limbah industri pada lokasi kajian telah melampaui batas maksimum baku mutu. Parameter tersebut adalah TSS, BOD, COD, dan deterjen. Berdasarkan kondisi tersebut, industri pada lokasi kajian telah memenuhi syarat untuk mendirikan instalasi pengolahan sehingga air limbah tidak mencemari lingkungan ketika dibuang ke badan air.

Kesetimbangan massa dan aliran hidrolis pengolahan

Pengambilan contoh uji air limbah lokasi kajian dilakukan pada beberapa titik sampling. Dari hasil pengukuran karakteristik fisik dan kimiawi air limbah industri, tiga parameter digunakan sebagai acuan perhitungan awal kesetimbangan massa yaitu *Biochemical Oxygen Demand* (BOD) sebesar 1050 mg/l, *Chemical Oxygen Demand* (COD) sebesar 13736 mg/l, *Total Suspended Solid* (TSS) sebesar 390 mg/l, serta debit sebesar 120 m³/hari. Konfigurasi unit pengolahan adalah ekualisasi, sedimentasi

primer, lumpur aktif, sedimentasi sekunder, desinfeksi, serta unit pengolahan lumpur (*thickener* dan *digester* anaerobik). Pada diagram alir kesetimbangan massa, supernatan dan lumpur diperhitungkan dengan memperhatikan aliran pada setiap unit operasi dan proses, tanpa mengacu pada waktu detensi. Dari analisis tersebut, debit aliran bawah (*underflow*) pada unit pengolahan lebih kecil dibandingkan aliran utama (*main liquid stream*), sedangkan konsentrasi TSS meningkat ketika memasuki unit pengolahan lumpur. Pengulangan (iterasi) perhitungan dibutuhkan untuk mendapatkan akurasi nilai variabel terbaik. Data kesetimbangan massa sangat berguna sebagai acuan dasar dalam merancang unit pengolahan air limbah. Diagram alir kesetimbangan massa dibuat untuk menentukan debit aliran, konsentrasi substrat, dan konsentrasi padatan. Perubahan reaksi zat pada aliran kesetimbangan tersebut kemungkinan diakibatkan oleh produksi atau destruksi oleh bahan kimia, biokimia, atau fenomena fisik (Droste, 1997).



Gambar 2 Kesetimbangan massa pengolahan air limbah industri daerah kajian

Berdasarkan perhitungan kesetimbangan massa, data acuan untuk rancangan unit sedimentasi primer adalah total debit aliran influen (Q_{PO}) sebesar $0,0028 \text{ m}^3/\text{detik}$, sedangkan konsentrasi BOD, COD, dan TSS influen serupa dengan konsentrasi awal hasil karakteristik air limbah karena tidak ada reduksi penyisihan terhadap ketiga konsentrasi tersebut pada unit pra-pengolahan.

Rancangan sedimentasi primer

Bak sedimentasi sebelum pengolahan biologis memiliki waktu detensi lebih pendek dan *overflow rate* lebih tinggi dibandingkan setelah pengolahan biologis, kecuali pembuangan lumpur aktif diresirkulasikan kembali ke bak sedimentasi. Efisiensi penyisihan padatan pada bak sedimentasi tergantung pada luas permukaan (*surface area*) dan waktu detensi. Kedalaman tangki tidak memberikan

pengaruh yang besar hanya berperan dalam menjaga kecepatan horisontal agar tidak melebihi kecepatan penggerusan.

Jenis bak pengendap primer pada perencanaan ini adalah *horizontal flow* berbentuk persegi panjang dengan pertimbangan antara lain:

Kebutuhan lahan yang lebih kecil dibandingkan lahan yang berbentuk *circular*.

Lebih ekonomis dari segi konstruksi.

Losses lebih kecil pada *inlet* dan *outlet*.

Penggunaan energi lebih kecil untuk pengumpulan dan penyisihan lumpur.

Tabel 3 Kriteria rancangan unit sedimentasi

Parameter	Besaran	Sumber
Waktu detensi, t_d (menit)	90 – 150	Tchobanoglous <i>et al.</i> , 2003
<i>Overflow rate</i> saat rata-rata, v_0 (m^3/m^2 hari)	30 – 50	Qasim, 1999
Panjang, P (m)	10 - 100	Qasim, 1999
Lebar, L (m)	6 - 24	Qasim, 1999
Kedalaman, H (m)	2,5 - 5	Qasim, 1999
Rasio P : L	1 - 7,5	Qasim, 1999
Rasio L : H	4.2 - 25	Qasim, 1999
Penyisihan konsentrasi SS (%)	50 - 70	Tchobanoglous <i>et al.</i> , 2003
Penyisihan konsentrasi BOD (%)	25 - 40	Tchobanoglous <i>et al.</i> , 2003
Kemiringan dasar, S (%)	1 - 2	Qasim, 1999

Pada perhitungan dan perancangan bangunan sedimentasi primer, data-data seperti debit aliran puncak, debit aliran rata-rata serta ukuran diameter pipa harus diketahui terlebih dahulu. Luas permukaan bak dihitung dengan menggunakan rumus:

$$A = \frac{Q_{rata-rata} \text{ setiap bak} \times 86400 \frac{\text{detik}}{\text{hari}}}{v_{rata-rata}} \quad (1)$$

Kemudian, rasio panjang, lebar dan kedalaman ditentukan berdasarkan kriteria rancangan pada Tabel 3. Total kedalaman bak adalah asumsi kedalaman permukaan air ditambahkan nilai *freeboard*. Laju aliran pada rancangan aliran puncak menggunakan persamaan:

$$v_{puncak} = \frac{Q_{puncak} \times 86400 \frac{\text{detik}}{\text{hari}}}{panjang \times lebar} \quad (2)$$

Waktu detensi diperoleh setelah mengetahui nilai rata-rata volume bak dengan mengali panjang, lebar serta asumsi nilai kedalaman pada tengah bak. Selanjutnya, perencanaan debit puncak dicek melalui persamaan:

$$Q_{puncak} = \frac{volume}{desain \text{ aliran puncak} \times 3600 \frac{\text{detik}}{\text{jam}}} \quad (3)$$

Dalam perhitungan dimensi struktur efluen, *orifice* diasumsikan sebanyak delapan buah dengan dimensi 5 × 5 cm. Perhitungan *head loss* di influen diawali dengan mengetahui terlebih dahulu aliran saat melewati setiap saluran menggunakan persamaan:

$$Q = \frac{(Q_{\text{puncak}} \text{ setiap bak})}{2} \quad (4)$$

Rumus tersebut dibagi dua karena unit terdiri dari dua bangunan. Kemudian, kecepatan pada saluran saat debit puncak diketahui melalui persamaan:

$$v = \frac{Q \text{ setiap saluran}}{\text{asumsi panjang} \times \text{lebar saluran}} \quad (5)$$

Debit aliran melalui setiap *orifice* diketahui melalui persamaan:

$$Q = \frac{(Q \text{ puncak per bak})}{\text{banyaknya orifice}} \quad (6)$$

Head loss pada *orifice* menggunakan persamaan:

$$h_{L \text{ orifice}} = \left(\frac{\text{aliran yang melewati setiap orifice}}{\text{freeboard} \times (\text{ukuran orifice})^2 \times \sqrt{2 \times 9.81 \frac{\text{m}}{\text{detik}^2}}} \right)^2 \quad (7)$$

Di dalam kalkulasi pada bagian efluen, ada beberapa parameter harus dihitung seperti dimensi *weir*, *head* serta kedalaman yang melewati desain *V-notch*, dan dimensi pembersih efluen. Perhitungan *weir* diawali dengan asumsi nilai beban *weir* pada debit puncak. Panjang *weir* dihitung menggunakan persamaan:

$$P_{\text{weir}} = \frac{(Q \text{ puncak setiap bak per hari})}{\text{beban weir}} \quad (8)$$

Nilai beban *weir* diasumsikan sebesar 120 m³/m/hari. Total panjang *weir* dihitung melalui persamaan:

$$P_{\text{total weir}} = 2(P + L \text{ sebelum baffle}) + 2(P + L \text{ setelah ditambah baffle}) - \text{kotak efluen} \quad (9)$$

Beban *weir* aktual dihasilkan dari persamaan:

$$\text{Beban weir} = \frac{\text{desain aliran puncak per hari}}{\text{total panjang lapisan weir}} \quad (10)$$

Pada rancangan *V-notch*, jumlah *V-notch* dihasilkan dari persamaan:

$$\sum \text{notch} = 5 \text{ notch per m} \times \text{total panjang lapisan weir} \quad (11)$$

5 notch per meter merupakan jarak untuk merancang V-notch. Aliran saat melewati setiap notch pada debit rata-rata diketahui melalui persamaan:

$$Q \text{ pada notch} = \frac{Q \text{ rata-rata setiap bak}}{\sum \text{notch}} \quad (12)$$

Head pada v-notch dihitung menggunakan persamaan:

$$Q \text{ melewati per notch} = \frac{8}{15} \times \text{koefisien yang menyalurkan } (0.6) \times \sqrt{2g} \tan \frac{\theta}{2} \times \text{head}^{5/2} \quad (13)$$

Untuk menghitung head pada debit puncak, nilai debit rata-rata setiap bak diganti dengan nilai debit puncak setiap bak. Nilai kedalaman setiap V-notch adalah sebesar 7 cm. Pada rancangan bangunan efluen, lebar *launder*, lebar kotak efluen, diameter pipa dan kedalaman kotak efluen harus dibuat berdasarkan perhitungan bangunan *grit chamber*. Nilai asumsi pembalik *launder* di atas pembalik kotak efluen sebesar 0,46 m. Kedalaman air pada pembersih efluen di titik keluar *launder* dihitung melalui persamaan:

$$H = \text{kedalaman air pada kotak efluen} - \text{asumsi pembalik pembersih efluen} \quad (14)$$

Setelah itu, debit aliran pada setiap bagian titik keluar pembersih diperoleh menggunakan persamaan:

$$Q = \frac{\text{desain aliran puncak per basin}}{2} \quad (15)$$

Kedalaman air pada akhir pembersih efluen diketahui melalui persamaan:

$$H = \frac{\sqrt{\frac{(\text{kedalaman air pada pembersih efluen})^2 + 2 (\text{aliran pada setiap bagian titik keluar})^2}{9.81 \frac{m}{\text{detik}^2} \times (\text{freeboard})^2 \times \text{kedalaman air pada pembersih efluen}}}{\sqrt{\quad}} \quad (16)$$

Kemudian, kedalaman air pada ujung pembersih dihitung melalui persamaan:

$$H = \gamma_2 \times 0.9 \quad (17)$$

Nilai 0,9 merupakan asumsi dari kedalaman air pada kotak efluen ditambah nilai asumsi turbulensi sebesar 14%. Nilai asumsi turbulensi harus berada pada rentang 10-30%. Total kedalaman pembersih *launder* dihitung melalui persamaan:

$$H \text{ total} = \text{kedalaman air pada ujung pembersih} + \text{freeboard} \quad (18)$$

Pada proses perencanaan, nilai kedalaman pembersih harus lebih besar dari rancangan debit puncak.

Dalam perhitungan kuantitas lumpur, beberapa hal harus diketahui terlebih dahulu, yaitu perkiraan *specific gravity* lumpur sebesar 1,03 dan kandungan padat sebesar 4,5% dengan nilai standar antara 3-6%. Selanjutnya, rata-rata jumlah lumpur per hari, volume lumpur per unit, serta ukuran dan siklus pompa untuk menghisap lumpur perlu dihitung. Untuk perhitungan rata-rata jumlah lumpur per hari, jumlah padatan pada satu bak diketahui berdasarkan laju kehilangan sebesar 63% melalui persamaan:

$$\text{Jumlah padatan} = 260 \times (0.63) \times \text{desain aliran rata - rata setiap basin} \times 86400 \frac{\text{detik}}{\text{hari}} \times \frac{\text{kg}}{1000 \text{ gr}} \quad (19)$$

Jumlah rata-rata lumpur per hari pada dua bak diketahui dengan mengalikan Persaman (19) dengan jumlah bak. Volume lumpur per menit setiap bak adalah:

$$V = \frac{\text{jumlah padatan yang dihasilkan per bak}}{\text{spesifik gravitasi} \times 1 \frac{\text{gr}}{\text{cm}^3} \times \frac{1}{1000} \frac{\text{gr}}{\text{kg}} \times \text{kandungan padatan} \times \frac{(100 \text{ cm})^3}{\text{m}^3} \times 1440 \frac{\text{menit}}{\text{hari}}} \quad (20)$$

Ukuran pompa beserta siklus pompa bekerja untuk menghisap lumpur melalui persamaan:

$$\text{Ukuran pompa} = \frac{(\text{volume lumpur yang dihasilkan per hari} \times \text{asumsi pompa bekerja per putaran})}{\text{asumsi interval siklus pompa berputar}} \quad (21)$$

Siklus interval pompa yang bekerja setiap menit untuk dua bak dihitung menggunakan persamaan:

$$\text{Siklus interval pompa} = \frac{\text{kapasitas memompa yang diinginkan} \times \text{asumsi interval siklus pompa}}{\text{volume lumpur yang dihasilkan} \times 2} \quad (22)$$

Dalam penentuan kualitas efluen untuk mereduksi beberapa parameter limbah pencemar, nilai penyisihan BOD dan TSS pada sedimentasi primer harus diketahui terlebih dahulu. Aliran influen yang membawa sedimen ke bak sedimentasi primer diperoleh menggunakan persamaan:

$$Q \text{ influen} = \text{desain aliran rata - rata} \times 86400 \frac{\text{detik}}{\text{hari}} \quad (23)$$

Nilai pencapaian TSS pada bak sedimentasi primer dihitung menggunakan persamaan:

$$\text{TSS yang dicapai} = \text{influen TSS} \times Q \text{ influen yang membawa sedimen} \quad (24)$$

Adapun TSS pada lumpur utama menggunakan persamaan:

$$\text{TSS pada lumpur utama} = \text{TSS yang dicapai} \times \text{padatan yang ingin dihilangkan} \quad (25)$$

Terakhir, volume bangunan lumpur dihitung menggunakan rumus:

$$V = \frac{\text{TSS pada lumpur utama}}{\text{kandungan padatan} \times 1030} \quad (26)$$

Rancangan unit sedimentasi membutuhkan kapasitas unit yang cukup untuk menyisihkan parameter TSS, BOD, dan COD. Salah satu pendekatan praktis untuk mengetahui kapasitas unit

sedimentasi melalui analisis berdasarkan tipe *hindered zone settling*. Analisis ini berdasarkan perubahan ketinggian partikel tersuspensi pada reaktor per satuan waktu. Pengembangan analisis ini ditujukan untuk penentuan salah satu parameter rancangan unit sedimentasi, yaitu *overflow rate*. Hasil pengamatan di laboratorium pada Tabel 4 menunjukkan hubungan antara konsentrasi TSS dan ketinggian zona settling. Data tersebut digunakan untuk membuat kurva *hindered zone interface settling* (Gambar 9) sehingga nilai *overflow rate* diperkirakan sebesar 21,31 m³/m².hari.

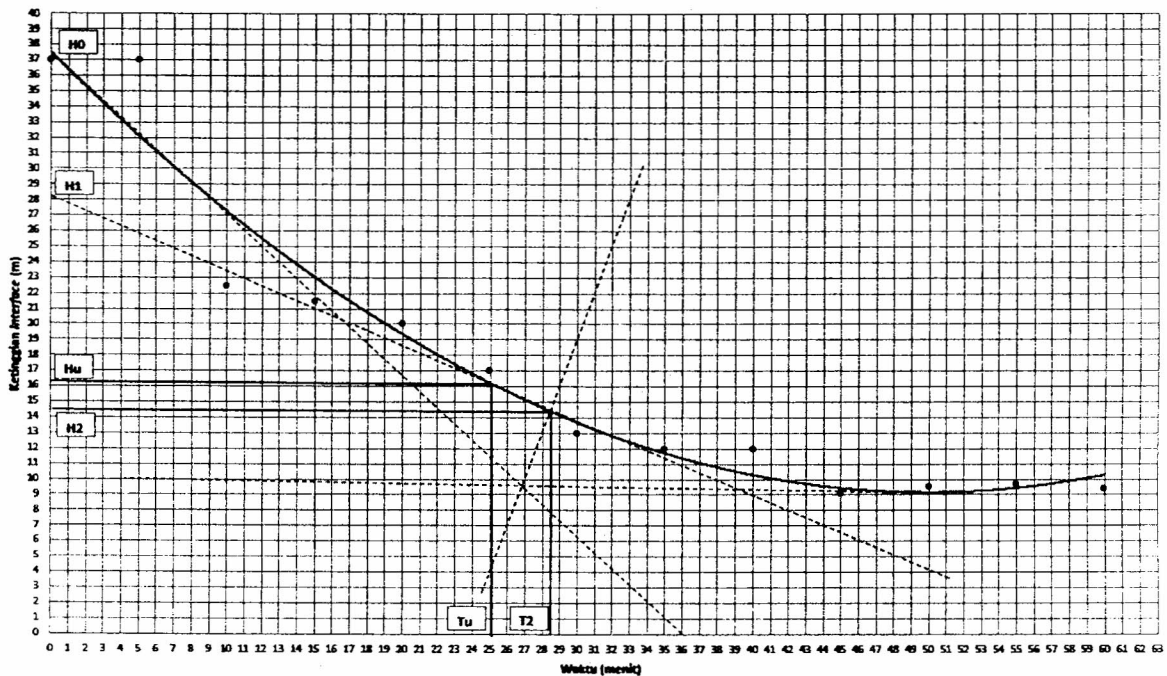
Tabel 4 Hubungan konsentrasi TSS dan tinggi reaktor

Waktu ke- (menit)	TSS (mg/L)	Ketinggian zona settling (cm)		
		Hindered	Transition	Compression
0	1540,5	37	0	0
5		12	12	13
10		0	11	11,5
15		0	11	10,5
20		0	10	10
25		0	8	9
30		0	7	6
35		0	5	7
40		0	3	9
45		0	0	9,1
50		0	0	9,5
55		0	0	9,7
60	187,5	0	0	9,4

Hasil perhitungan dimensi dan aspek-aspek teknis lainnya pada unit sedimentasi primer dapat dilihat pada Tabel 5 hingga Tabel 12, sedangkan gambar rancangan dapat dilihat dalam Gambar 4 hingga Gambar 8..

Tabel 5 Karakteristik air limbah awal, lumpur primer dan effluen air limbah hasil olahan

Parameter	Air limbah awal		Lumpur Primer		Effluen dan Sedimentasi Primer	
	Konsentrasi (mg/l)	Massa (kg/hari)	Removal (%)	Massa (kg/hari)	Massa (kg/hari)	Konsentrasi (g/m ³ atau mg/l)
Debit (m ³ /hari)	86			2,3		84
TSS	1577,67	136	78	107	30	353



Gambar 3 Kurva hindered zone interface settling

Tabel 6 Kriteria rancangan zona pengendapan unit sedimentasi primer

Faktor Rancangan	Nilai terpilih
Debit rata-rata tiap basin	0,001 m ³ /detik
Laju limpasan pada rancangan debit rata-rata	21,312 m ³ /m ² .hari
Rasio panjang : Lebar	3:1

Tabel 7 Kriteria rancangan unit sedimentasi primer

Faktor Rancangan	Bentang Nilai	Nilai terpilih
A. Jumlah unit bak sedimentasi		1
B. Debit		
1. Total debit puncak saat musim hujan		0,003 m ³ /detik
2. Debit puncak saat musim hujan tiap basin		0,0030 m ³ /detik
3. Total debit rata-rata		0,001 m ³ /detik
4. Debit rata-rata tiap unit		0,001 m ³ /detik
5. Laju limpasan	<21,312 m ³ /m ² .hari	
6. Weir loading pada beban puncak	<120 m ³ /m ² .hari	
7. Total debit launder dan saluran outlet		0,003 m ³ /detik
8. Debit launder dan saluran outlet tiap unit		0,003 m ³ /detik
C. Waktu Detensi	>2,5 jam	
D. Kecepatan aliran di saluran influen	<0,35 m/detik	
E. Kedalaman unit sedimentasi	>3 m	
F. Kemiringan dasar unit	1,25 %	

Tabel 8 Kriteria rancangan zona lumpur sedimentasi primer

Faktor Rancangan	Sedimentasi	
	Primer	Sekunder
Konsentrasi TSS di influen (g/m^3)	1577,67	3000
Persentase removal TSS (%)	78,2	80
Berat jenis lumpur (g/m^3)	1,03	1,03
Persentase kadar padatan (%)	4,5	4,5
Interval pompa (menit)	16,5	16,5
Siklus pemompaan per basin (menit/siklus)	1,5	1,5
Waktu siklus pompa (menit/siklus)	18	18

Tabel 9 Kriteria kualitas efluen pada unit sedimentasi primer

Faktor Rancangan	Nilai
Persentase penyisihan BOD_5 (%)	19
Persentase removal TSS (%)	92

Catatan: Data diperoleh dari hasil pengujian laboratorium

Tabel 10 Kriteria kualitas *scum* pada unit sedimentasi primer

Faktor Rancangan	Nilai
Kuantitas <i>scum</i> rata-rata ($\text{kg}/1000 \text{ m}^3$)	8
Berat jenis <i>scum</i> (gr/cm^3)	0,95

Tabel 11 Kriteria rancangan zona lumpur sedimentasi primer

Faktor Rancangan	Sedimentasi	
	Primer	Sekunder
Perbandingan kedua sisi	1:2	1:2
Ketinggian ruang lumpur (m)	0,4	0,75
Kemiringan dasar bak (%)	1,25	2
Diameter pipa penguras (m)	0,15	0,35
Jumlah pengurasan dalam sehari	5	3
Volume lumpur ($\text{m}^3/\text{menit}/\text{unit}$)	0,0016	0,0031

Tabel 12 Rancangan unit sedimentasi primer

A. Dimensi bak	
1 Geometri Basin	
Luas permukaan	4,05 m^2
Lebar	1,16 m
Panjang	3,49 m
Kedalaman air rata-rata	0,8 m
Rasio panjang terhadap kedalaman	4,36 m
Freeboard	0,5 m

Kedalaman air dari dasar sampai permukaan basin	1,3 m
2 Cek Laju Limpasan	
Laju limpasan pada debit rata-rata	21,312 m ³ /m ² .hari
Laju limpasan pada debit puncak	63,94 m ³ /m ² .hari
3 Cek Waktu Detensi	
Volume basin rata-rata	3 m ³
Waktu detensi pada debit rata-rata	0,90 jam
Waktu detensi pada debit puncak	0,30 jam
B. Bangunan influen	
Debit saluran	0,003 m ³ /detik
Dimensi saluran influen	0,10 x 0,10 m
Kecepatan aliran di saluran pada debit puncak	0,3 m/detik
ΔH	0,000003 m
C. Bangunan Influen	
1 Menghitung Panjang Weir	
<i>Weir loading</i> pada debit puncak	120 m ³ /m ² .hari
Debit puncak per unit	259 m ³ /hari
Panjang weir	2,16 m
Panjang total <i>weir plate</i>	2,16 m
<i>Weir loading</i> aktual	120 m ³ /m ² .hari
2 Menghitung Jumlah V-Notch	
Jumlah <i>V-notch</i>	63 buah
3 Menghitung Head di atas V-Notch pada debit rata-rata	
Debit rata-rata per notch pada kondisi normal	0,000016
Head diatas notch	m ³ /detik/notch 0,01 m
4 Menghitung Head di atas V-Notch pada debit puncak	
Debit rata-rata per <i>notch</i> pada kondisi normal	0,000064
Head di atas <i>notch</i>	m ³ /detik/notch 0,018 m
5 Cek Kedalaman Notch	
Kedalaman total	2 cm
Kedalaman pada debit maksimum	1,6 cm
<i>Freeboard</i>	1 cm
6 Menghitung Dimensi Effluen Launder	

Lebar <i>launder</i> (b)	0,1 m
Lebar efluen <i>box</i>	0,2 m
Diameter pipa outlet	0,1 m
Kedalaman air di efluen <i>box</i>	0,2 m
Jarak efluen <i>launder</i> dari atas efluen <i>box</i>	0,09 m
Kedalaman air di effluent <i>launder</i> pada pintu keluar, y_2	0,11 m
Debit di tiap <i>launder</i> pada pintu keluar	0,002 m ³ /detik
y_1	0,11 m
Kedalaman air di akhir saluran	0,05 m
Kedalaman total efluen <i>launder</i>	0,15 m

D. Kuantitas Lumpur Sedimentasi Primer

1 Menghitung Kuantitas Lumpur Rata-rata per hari

Jumlah padatan per unit per hari	106,6 kg/hari
Jumlah padatan per hari dari semua unit	107 kg/hari

2 Menghitung Volume Lumpur per Basin per Menit

Volume lumpur	0,0016 m ³ /menit per unit
---------------	---------------------------------------

3 Menentukan Ukuran dan Siklus Pompa Lumpur

Kapasitas pemompaan	0,02 m ³ /menit per unit
Interval siklus untuk seluruh basin	18 menit per siklus

E. Kualitas Efluen dari Bak Sedimentasi Primer

Konsentrasi TSS

Debit influen ke bak sedimentasi primer	86 m ³ /hari
TSS yang mencapai bak sedimentasi primer	136 kg/hari
TSS pada lumpur primer	107 kg/hari
Volume lumpur primer	2,3 m ³ /hari

F. Kuantitas *Scum*

Kuantitas <i>scum</i> rata-rata	1 kg/hari
---------------------------------	-----------

G. Menghitung Dimensi Ruang Lumpur

1 Volume bak dan luas ruang lumpur

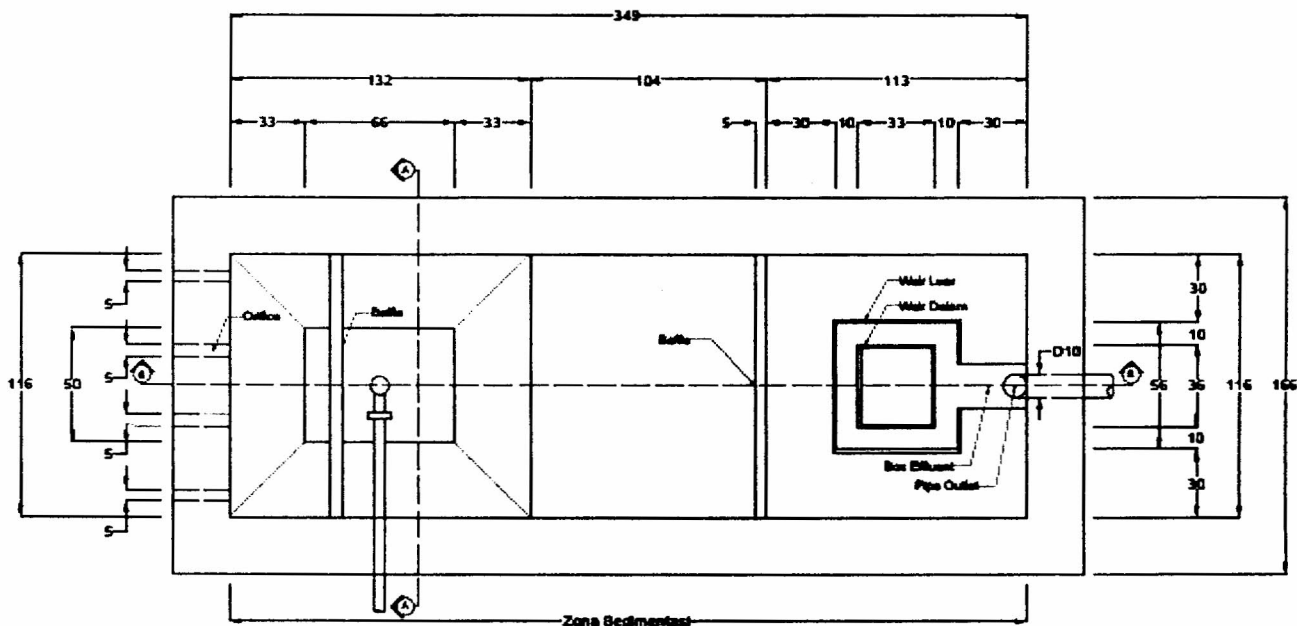
Volume lumpur total	2,30 m ³ /hari/basin
Volume bak lumpur	0,46 m ³
Luas ruang lumpur	0,4 m ²

2 Dimensi ruang lumpur (trapesium)

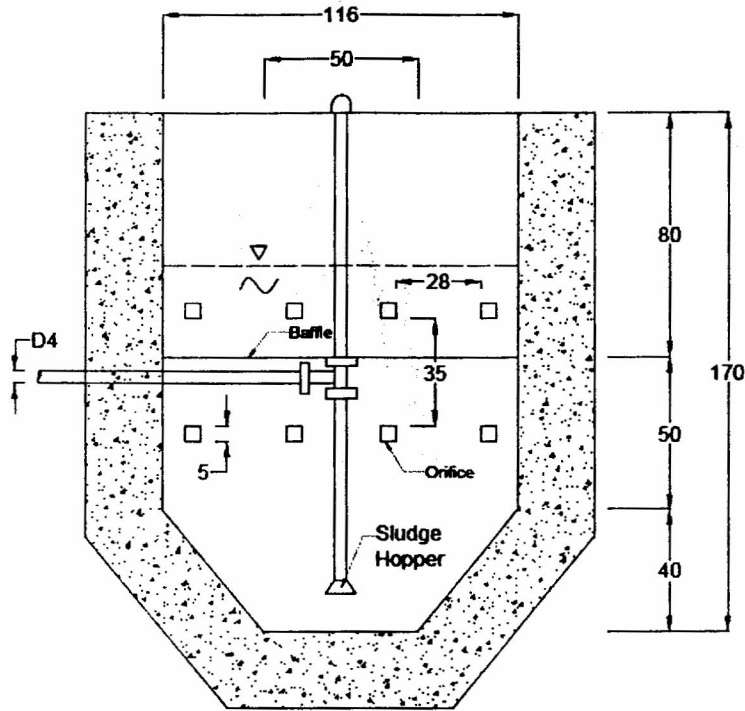
Jumlah sisi sejajar	1,98 m
Sisi pertama	0,66 m
Sisi kedua	1,32 m
kemiringan (<i>slope</i>)	0,03 m

3 Debit dan lama pengurasan

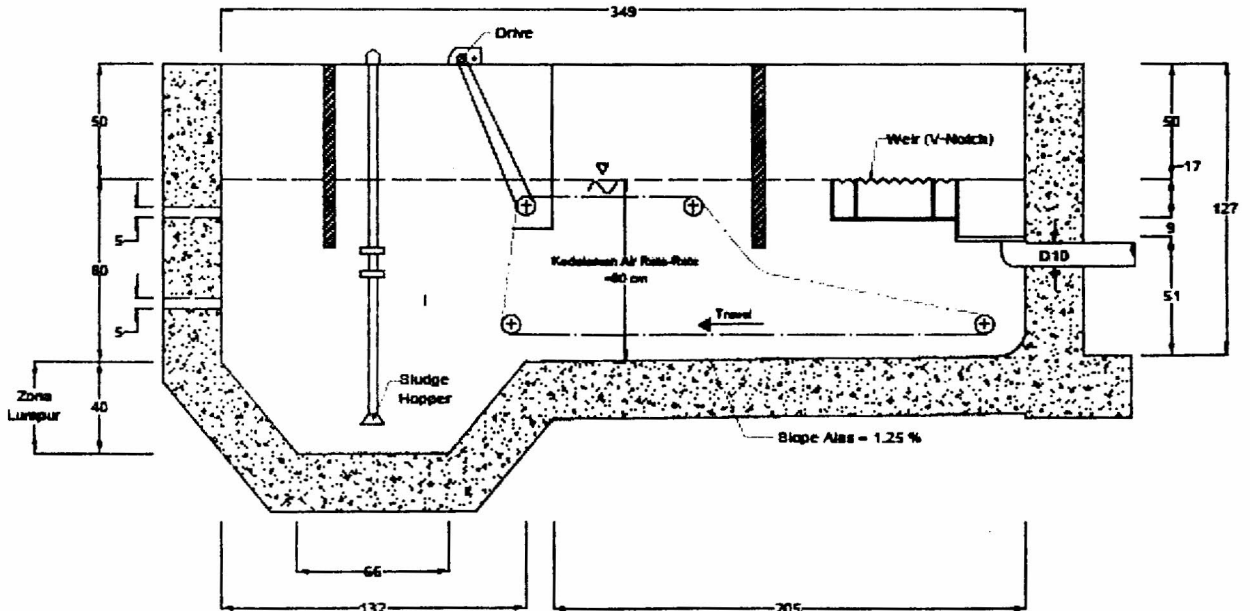
Tinggi tekan tersedia	2,23 m
Kecepatan pembuangan lumpur (v)	3,96 m
Luas pipa penguras (A)	0,018 m ²
Debit pipa penguras (Q)	0,07 m ³ /detik
Lama pengurasan	6,36 detik



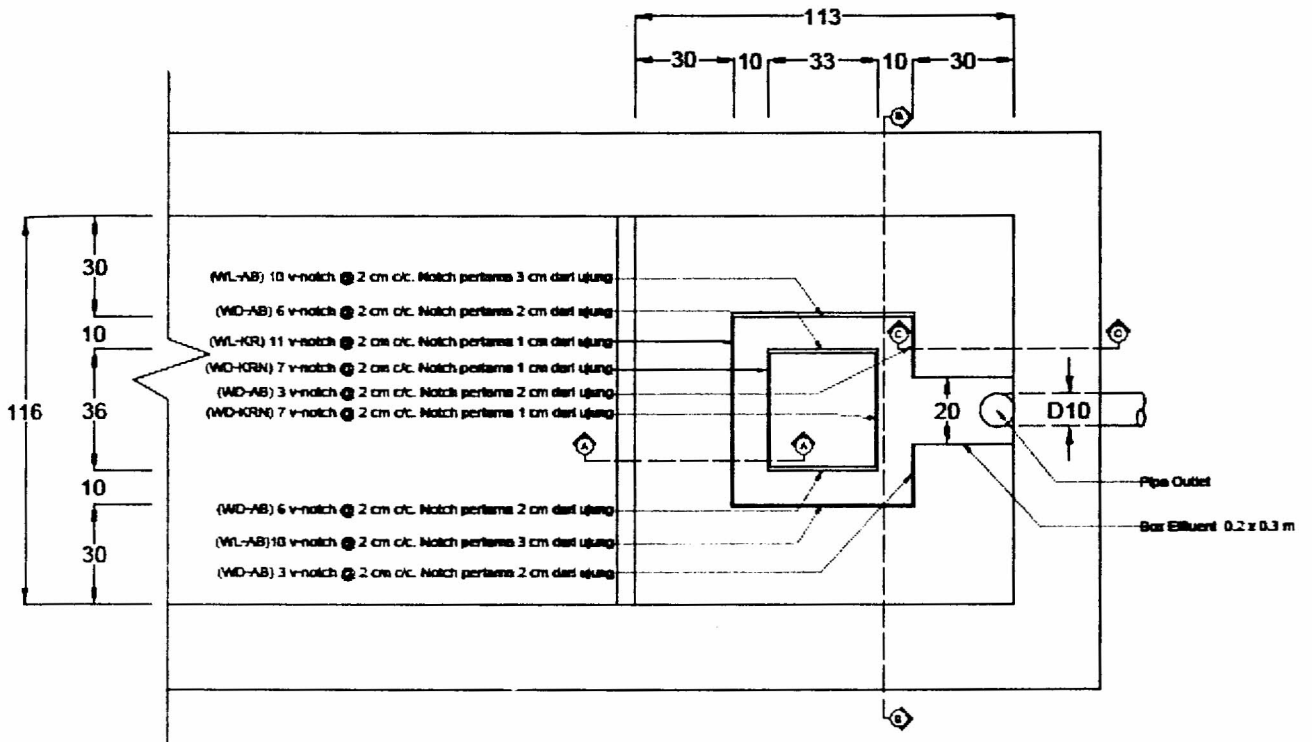
Gambar 4 Denah sedimentasi primer



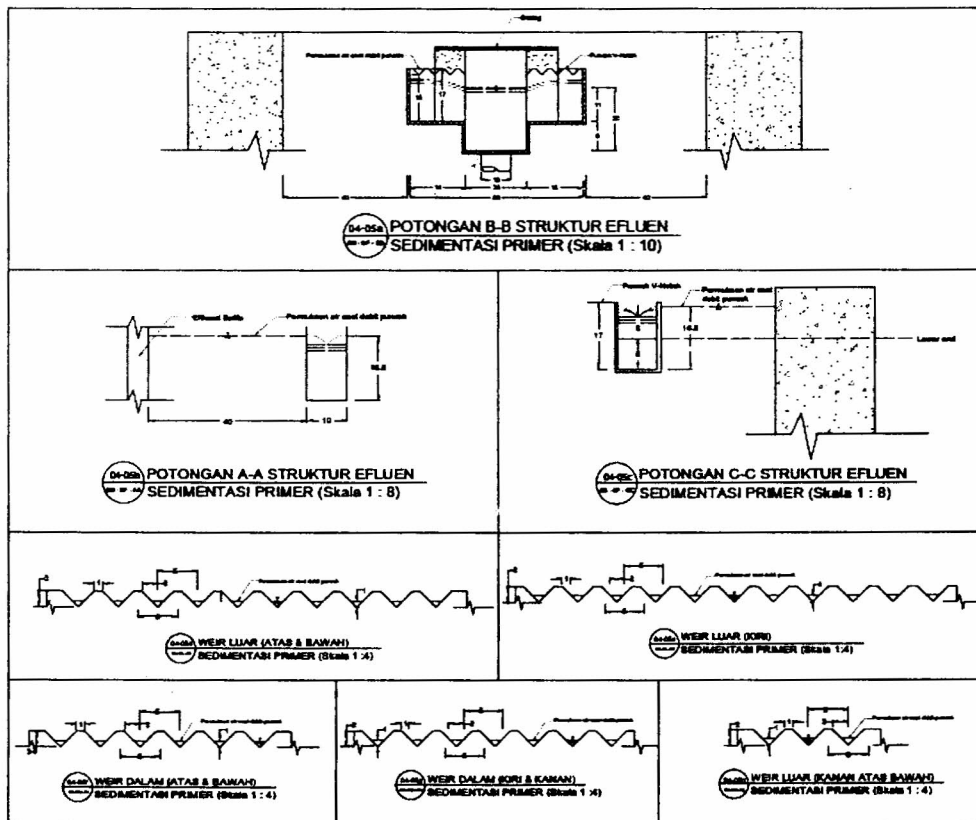
Gambar 5 Potongan A-A sedimentasi primer



Gambar 6 Potongan B-B sedimentasi primer



Gambar 7 Denah efluen sedimentasi primer



SIMPULAN

Rancangan unit sedimentasi berbentuk *rectangular* (persegi). Berdasarkan hasil perhitungan, lebar bak sebesar 1,16 meter; panjang bak sebesar 3,49 meter; kedalaman air rata-rata sebesar 0,8 meter; freeboard sebesar 0,5 meter; laju limpasan pada debit rata-rata sebesar 21,312 m³/m².hari; waktu detensi pada debit rata-rata sebesar 0,90 jam; dimensi saluran influen untuk panjang sama dengan lebar sebesar 0,10 m; panjang weir sebesar 2,16 m; jumlah V-notch sebanyak 47 buah; lebar launder sebesar 0,1 m; lebar efluen box sebesar 0,2 m; diameter pipa outlet sebesar 0,1m; dan jumlah padatan per unit per hari sebesar 106,6 kg/hari.

DAFTAR PUSTAKA

- Droste, R. L. 1997. *Theory and Practice of Water and Wastewater Treatment*, John Willy & Sons Inc, New Jersey.
- Kurniawan, A. 2013. Konsep Keseimbangan Massa dan Aliran Hidrolik Model *Completely Mixed* Pada Unit Pengolahan Air Limbah Industri, *Prosiding Seminar Nasional Pengelolaan Sumberdaya Alam dan Lingkungan: Optimasi Pengelolaan Sumberdaya Alam dan Lingkungan dalam Mewujudkan Pembangunan Berkelanjutan*.
- Qasim, S. R. 1998. *Wastewater Treatment Plants: Planning, Design, and Operation*, CRC Press, Boca Raton-Florida.
- Tchobanoglous, G., Burton, F. L., Stensel, H. D. 2002. *Wastewater Engineering: Treatment and Reuse*, McGraw-Hill, New York.