Analisis Indeks Kebutuhan Lahan dan Biaya dari Perencanaan IPAL Terpadu di Kawasan Aerocity X

Adryan Lukman Indira^{1*}, Didin Agustian Permadi², Etih Hartati³

^{1,2,3}Teknik Lingkungan, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Institut Teknologi Nasional (Itenas), Bandung

*Koresponden Email: adryan.lukman@gmail.com

Diterima: 18 Mei 2021

Disetujui: 6 Juni 2021

Abstract

District Aerocity X in Kabupaten Majalengka is a commercial and industrial area that enhances economic growth in Provinsi Jawa Barat. The district with an area of 3,480 ha is integrated into the domestic sector. However, this area also has the potential to cause harm if the waste is not treated. Following PP No 142 Tahun 2015, each industrial area must provide an effective and efficient wastewater treatment plant (WWTP). This design plan begins with the analysis of issues on the study site. The data were obtained using the Aerocity X District Pre-Development Office study method. The method of designing effective alternatives for WWTP used the weighted ranking technique (WRT), each alternative was compared with two fundamental, technical and non-technical aspects. The purpose of this design plan is to analyze the index of land and cost requirements for WWTP. The yield of wastewater was 3.99 m³/s. The most effective land and the cost is complete mix-activated sludge. The result of installing the design plan requires an area of 9,446.5 m²/m³ of wastewater and a cost of Rp5,619.53x10⁶/m³ of wastewater.

Keywords: *district aerocity x, complete mix activated sludge, cost requirement, land requirement, wastewater treatment plant*

Abstrak

Kawasan Aerocity X di Kabupaten Majalengka merupakan suatu kawasan bisnis dan industri yang mempromosikan pertumbuhan ekonomi Provinsi Jawa Barat. Kawasan dengan lahan seluas 3.480 ha terintegrasi dengan sektor domestik. Kawasan ini berpotensi mencemari lingkungan jika limbahnya tidak diolah. Sesuai PP No 142 Tahun 2015, kawasan industri harus menyediakan instalasi pengolahan air limbah (IPAL) yang efektif dan efisien. Perencanaan ini diawali dengan menganalisis permasalahan di lokasi studi. Data diperoleh menggunakan metode *desk study* dari laporan pra-pembangunan Kawasan Aerocity X. Metode untuk merancang alternatif IPAL yang efektif menggunakan metode *weighted ranking technique* (WRT), setiap alternatif dibandingkan dengan dua aspek inti, yaitu aspek teknis dan non teknis. Tujuan perencanaan ini ialah menganalisis indeks kebutuhan lahan dan biaya perencanaan IPAL. Timbulan air limbah didapatkan 3,99 m³/s. Lahan dan biaya IPAL yang paling efektif adalah *complete mix activated sludge*. Hasil perencanaan instalasi membutuhkan lahan seluas 9.446,5 m²/m³ air limbah dan biaya sebesar Rp5.619,53x10⁶/m³ air limbah.

Kata Kunci: *instalasi pengolahan air limbah, kawasan aerocity, complete mix activated sludge, WRT, kebutuhan lahan*

---

1. Pendahuluan

Kawasan Aerocity X merupakan kawasan bisnis dan industri yang dapat mempromosikan pertumbuhan ekonomi di Provinsi Jawa Barat, khususnya Kabupaten Majalengka. Selain luas lahan kawasan ini yang cukup besar (sekitar 3.480 ha), kawasan ini juga harus memperhatikan limbah sisa produksi yang berpotensi mencemari lingkungan di sekitar kawasan. Limbah yang berpotensi mencemari lingkungan salah satunya berasal dari limbah cair. Mengingat Kawasan Aerocity X adalah kawasan yang terintegrasi maka perlu adanya perencanaan instalasi pengolahan air limbah yang efektif dan efisien sesuai kebutuhan pembangunan mengacu pada PP RI No. 142 Tahun 2015 [1].

Perencanaan instalasi pengolahan air limbah (IPAL) bertujuan untuk menganalisis potensi karakteristik timbulan air limbah, merencanakan unit-unit instalasi yang dibutuhkan sesuai kriteria desain setiap unit, menghitung dimensi unit, hingga menghitung rencana anggaran biaya yang dibutuhkan di Kawasan Aerocity X. Perencanaan ini diawali dengan menganalisis permasalahan di lokasi studi dan mengumpulkan data. Data diperoleh menggunakan metode *desk study* dari laporan pra-pembangunan Kawasan Aerocity X, dimana data yang diambil berupa proyeksi jumlah penduduk, peta wilayah, peta tata guna lahan, dan luas wilayah. Sementara itu, terdapat data yang diambil dari literatur untuk kemudian

dianalisis dan dikombinasikan, data yang diambil meliputi standar kebutuhan air bersih dan air limbah, baku mutu kawasan industri yang serupa, serta kriteria desain unit pengolahan IPAL. Perencanaan IPAL dibagi menjadi dua tahap, yaitu analisis kualitas air limbah dan estimasi kuantitas air limbah. Perhitungan kebutuhan air bersih di Kawasan *Aerocity X* dilakukan dengan menghitung kebutuhan air yang diperlukan untuk kebutuhan domestik dan non domestik, selanjutnya dengan mempertimbangkan faktor air limbah yang ditimbulkan dari hasil aktivitas maka didapatkan kuantitas timbulan air limbah Kawasan. Metode yang digunakan untuk mengetahui rancangan alternatif IPAL yang efektif menggunakan metode *weighted ranking technique* (WRT), setiap alternatif akan dibandingkan dengan dua parameter (aspek) inti, yaitu aspek teknis dan non teknis. Aspek teknis terdiri atas kemudahan pengoperasian, ketersediaan sumber daya manusia, jumlah lumpur yang dihasilkan, dan kualitas efluen. Sedangkan aspek non teknis meliputi ketersediaan lahan, dan biaya investasi [2] [3].

Kawasan *Aerocity X* perlu pengawasan yang ketat terkait air limbah sisa-sisa produksi dari beberapa industri dalam kawasan. Perencanaan instalasi pengolahan air limbah dapat mengurangi kandungan air limbah industri agar tetap memenuhi baku mutu air limbah ketika dibuang ke lingkungan. Perencanaan ini diharapkan memberikan gambaran mengenai teknologi pengolahan air limbah yang efektif dan efisien untuk mengolah air limbah serta dapat diterapkan di Kawasan *Aerocity X* Kabupaten Majalengka.

2. Metode Penelitian

Lokasi Penelitian

Pada perencanaan ini, lokasi perencanaan dilakukan di Kabupaten Majalengka. Sasaran objek perencanaan adalah Kawasan Industri *Aerocity X*. Perencanaan instalasi pengolahan air limbah dilakukan dengan mengestimasi debit air bersih. Perhitungan kebutuhan air bersih atau debit air bersih membutuhkan data pendukung seperti standar kebutuhan air yang bisa didapatkan dari data sekunder. Berikut ini adalah rumus perhitungan debit air bersih.

$$Q_{\text{air bersih}} (\text{L/hari}) = \text{Populasi (jiwa)} \times \text{Standar kebutuhan air (L/jiwa/hari)}$$

Kemudian debit air limbah dihasilkan dari sisa-sisa kegiatan domestik dan non domestik. Perhitungan debit air limbah menggunakan faktor maksimum harian, dalam perencanaan ini timbulan air limbah memperhitungkan timbulan terbanyak dalam satu hari selama satu tahun. Perhitungan debit timbulan air limbah dapat dilihat sebagai berikut.

$$Q_{\text{air limbah}} (\text{L/hari}) = \text{Faktor air limbah (\%)} \times Q_{\text{air bersih}} (\text{L/hari}) \times F_p \quad [4]$$

Dimana F_p = faktor maksimum harian.

Penentuan alternatif IPAL yang akan diterapkan pada Kawasan *Aerocity X* menggunakan metode *Weighted Ranking Technique* (WRT) dengan mempertimbangkan aspek teknis dan non teknis. Metode WRT membandingkan setiap parameter dengan memberikan nilai yang bersifat kuantitatif. Metode WRT juga merupakan metode yang sangat umum digunakan dalam suatu perencanaan. Metode WRT memberikan penilaian terhadap beberapa alternatif yang nantinya dibandingkan dengan nilai paling tinggi. Penentuan nilai dalam metode WRT menggunakan koefisien penting faktor (KPF) dan koefisien pemilihan alternatif (KPA). Koefisien penting faktor atau KPF ditentukan dengan cara memberikan bobot pada masing-masing faktor pembanding berdasarkan tingkat kepentingan faktor terhadap persyaratan yang ada. Koefisien pemilihan alternatif (KPA) didapatkan dengan cara memberikan bobot untuk membandingkan alternatif satu dengan alternatif lainnya dalam satu faktor pembanding. Pengambilan keputusan merupakan tahap terakhir dalam metode WRT, dimana nilai tertinggi dari hasil perkalian KPF dan KPA dari setiap alternatif akan dipilih [5][6].

Pengolahan Data

Jenis data yang digunakan dalam perencanaan ini adalah data sekunder, pengambilan data sekunder dilakukan dengan metode *desk study*. Data perhitungan yang telah didapatkan digunakan untuk perencanaan dimensi instalasi air limbah dan menghitung rencana anggaran biaya yang dibutuhkan. Informasi lainnya berupa data kualitatif akan digunakan untuk menganalisis kualitas air limbah di Kawasan *Aerocity X*.

3. Hasil dan Pembahasan

Karakteristik Air Limbah

Karakteristik air limbah di Kawasan *Aerocity X* Kabupaten Majalengka direncanakan dengan pendekatan baku mutu kawasan industri yang ada di Indonesia, yaitu PT Jababeka Tbk., PT Kawasan Berikat Nusantara (Persero), PT Surabaya Industrial Estate Rungkut, dan baku mutu dari bandara internasional yang sudah mengusung konsep *aerocity*, yaitu Bandara Internasional Incheon, Bandara Internasional Indira Gandhi, dan Bandara Internasional Kansai. Pendekatan ini dilakukan dengan membandingkan efisiensi penyisihan setiap parameter, dan dipilih yang paling besar yang dapat mengolah air limbah mendekati baku mutu outlet PermenLH No. 03 tahun 2010. Rencana baku mutu kawasan *Aerocity X* di Kabupaten Majalengka dapat dilihat pada **Tabel 1**[7].

Tabel 1. Perencanaan baku mutu kawasan *Aerocity X* di Kabupaten Majalengka

Parameter	Unit	I	II
Temperatur	°C	38	40
TDS	mg/l	2	2,000
TSS	mg/l	30	400
Amonia Total (NH ₃ -N)	mg/l	-	10
Besi (Fe)	mg/l	-	5
Mangan (Mn)	mg/l	-	2
Total Merkuri (Hg)	mg/l	0,005	0,002
Barium (Ba)	mg/l	-	2
Tembaga (Cu)	mg/l	0,2	2
Seng (Zn)	mg/l	2	5
Krom Heksavalen (Cr+6)	mg/l	1	0,1
Krom Total (Cr)	mg/l	-	0,5
Cadmium (Cd)	mg/l	0,01	0,05
Timbah (Pb)	mg/l	1	0,1
Stannum (Sn)	mg/l	-	2
Arsen (As)	mg/l	-	0,1
Selenium (Se)	mg/l	0,05	0,05
Nikel (Ni)	mg/l	-	0,2
Kobalt (Co)	mg/l	0,2	0,4
Sianida (CN)	mg/l	-	0,05
Parameter	Unit	I	II
Sulfida (S dan H ₂ S)	mg/l	-	0,1
Fluor (F)	mg/l	-	2
Gas Klorin	mg/l	-	1
Amonia Bebas (NH ₃ -N)	mg/l	-	1
Nitrat (NO ₃ -N)	mg/l	20	30
Nitrit (NO ₂ -N)	mg/l	-	2
BOD	mg/l	50	540
COD	mg/l	100	850
Methylene Blue Active Surfactant	mg/l	-	5
Fenol	mg/l	-	0,5

Sumber: Hasil perhitungan peneliti, 2019

Estimasi Timbulan Air Limbah

Estimasi kebutuhan air bersih pada kawasan *Aerocity X* dapat dihitung menggunakan data jumlah penduduk/pegawai dikali standar kebutuhan air bersih setiap fasilitas yang tersedia. Selanjutnya estimasi timbulan limbah domestik dihitung dengan cara mengalikan kebutuhan air bersih dengan faktor air limbah. Perhitungan kebutuhan air bersih dan timbulan air limbah dapat dilihat sebagai berikut.

Perhitungan kebutuhan air domestik pada tahun 2045, diketahui:

- Jumlah populasi (pegawai) pada sektor *aircraft manufacturing* = 2.208 jiwa.
- Standar kebutuhan air sektor *aircraft manufacturing* = 50 L/pegawai/hari.

Maka, Kebutuhan Air Domestik (Qabdom) = Populasi (jiwa) × Standar kebutuhan air (L/jiwa/hari)

Qabdom = 2.208 jiwa × 50 L/pegawai/hari

Qabdom = 110.400 L/hari

Perhitungan timbulan air limbah domestik pada tahun 2045, diketahui:

- Kebutuhan air bersih domestik pada fasilitas *aircraft manufacturing* = 110.400 L/hari
- Faktor air limbah fasilitas *aircraft manufacturing* = 80 %.

- Faktor maksimum harian= 1,61
- Maka, Debit Air Limbah (Qal) = Faktor air limbah (%) × Qabdom (L/hari) × Fp
 $Qal = 80 \% \times 110.400 \text{ L/hari} \times 1,61$
 $Qal = 142.195 \text{ L/hari}$
 Perhitungan timbulan air limbah pada tahun akhir perencanaan dapat dilihat pada **Tabel 2.**

Tabel 2. Rekapitulasi perhitungan timbulan air limbah tahun 2045

Fasilitas	Satuan	Tahun 2045
<i>Aerospace Park Cluster</i>		
<i>Aircraft Manufacturing</i>	L/hari	142.195
<i>Staff in Maintenance, Repairing, & Overhaul</i>	L/hari	133.879
<i>Logistic Hub Cluster</i>		
<i>Staff in Logistic (Warehouse & Cargo Handling)</i>	L/hari	3.224
<i>Staff in Logistic (Land Distribution)</i>	L/hari	5,41
<i>Staff in E-Commerce</i>	L/hari	57.154
<i>Creative Technology Center</i>		
<i>Staff in Bio-life Science (Pharmacy)</i>	L/hari	51.728
<i>Staff in Smartphone Manufacturing</i>	L/hari	446.614
<i>Staff in Garment</i>	L/hari	5.663.658
<i>Student in University</i>	L/hari	1.056.000
<i>Staff in ISP & Data Center Provider</i>	L/hari	12.452
<i>Total Bed in Hospital</i>	L/hari	506,88
<i>Staff in Hospital</i>	L/hari	77.146
<i>Business Park Cluster</i>		
<i>Staff in Financial Center</i>	L/hari	22.566
<i>Total Retail Building Floor Area</i>	L/hari	31.893
<i>Staff in Retail</i>	L/hari	37.75
<i>Guest in Hotel</i>	L/hari	170.311.352
<i>Staff in Hotel</i>	L/hari	47,33
<i>Resident in Apartment</i>	L/hari	34.286.340
<i>Residential</i>		
<i>Individual Housing</i>	L/hari	1.870.560
<i>Individual and High Class Housing</i>	L/hari	15.588.400
<i>Energy Cluster</i>		
<i>Staff in Utility - Electricity</i>	L/hari	40.807
<i>Staff in Utility - Water</i>	L/hari	2.176
<i>Staff in Utility - Waste Management</i>	L/hari	2.176
<i>Accessibility</i>		
<i>Other (Community Facilities & Green Area) I</i>	L/hari	20.088
<i>Other (Community Facilities & Green Area) I</i>	L/hari	96.805.176
Total	L/hari	327.222.951
	m ³ /s	3,787

Sumber: Hasil perhitungan peneliti, 2019

Estimasi timbulan air limbah yang dihitung hanya timbulan air limbah domestik, di samping itu timbulan air limbah non domestik didapatkan dari data sekunder proyeksi timbulan air limbah industri. Rekapitulasi timbulan air limbah maksimum pada tahun akhir perencanaan dapat dilihat pada **Tabel 3.**

Tabel 3. Rekapitulasi timbulan air limbah maksimum tahun 2045

Keterangan	Satuan	Tahun 2045
Timbulan Air Limbah Domestik	m ³ /s	3,787
Timbulan Air Limbah Industri	m ³ /s	0,207
Total Timbulan Air Limbah	m ³ /s	3,99

Sumber: Hasil perhitungan peneliti, 2019

Pemilihan Alternatif Instalasi Pengolahan Air Limbah

Berdasarkan data baku mutu air limbah dan timbulan air limbah, dapat diketahui tipe dekomposisi dari air limbah di kawasan *Aerocity X* yang nantinya mempengaruhi efektivitas teknologi IPAL yang dibutuhkan. Tipe dekomposisi aerobik cocok untuk mengolah kuantitas air limbah yang besar dengan

kualitas BOD < 500 mg/l. Maka, tipe dekomposisi air limbah di Kawasan *Aerocity X* tergolong dalam tipe dekomposisi aerobik, sehingga alternatif pengolahan IPAL lebih banyak menggunakan sistem aerobik. Alternatif pengolahan seperti *Facultative Ponds (FP)*, *Complete Mix Activated Sludge (CMAS)*, *Oxidation Ditch (OD)*, *Sequencing Batch Reactor (SBR)*, *Trickling Filter (TF)*, dan *Rotating Biological Contactors (RBC)* akan dibandingkan dengan enam parameter pembanding (terdiri atas parameter teknis dan parameter non teknis) untuk mengetahui teknologi yang dapat diterapkan di Kawasan *Aerocity X*. Perbandingan alternatif pengolahan dapat dilihat pada **Tabel 4** dan **Tabel 5** [8], [9][6], [10][11].

Tabel 4. Perbandingan alternatif teknologi pengolahan berdasarkan aspek teknis

Teknologi	Kemudahan Operasi ¹	SDM ¹	Jumlah Lumpur ²	Kualitas Efluen ²
FP	<i>Manhole, Fencing, Transfer pipe</i>	Tidak perlu SDM	30-60% BOD removal	80-95%
CMAS	<i>Diffused air, Mechanical aerators</i>	Harus berkompeten	30-60% BOD removal	85%-95%
OD	<i>Diffused air, Mechanical aerators</i>	Harus berkompeten	30-60% BOD removal	75-95%
SBR	<i>Diffused air, Mechanical aerators, Decaners</i>	Harus berkompeten	30-60% BOD removal	85-95%
TF	<i>Media filter, Ventilator</i>	Tanpa keahlian khusus	10-30% BOD removal	40-85%
RBC	<i>Media filter (Disks), Shaft</i>	Tanpa keahlian khusus	10-30% BOD removal	80-90%

Sumber: [8], [9]

Tabel 5. Perbandingan alternatif teknologi pengolahan berdasarkan aspek non teknis

Teknologi	Kebutuhan Lahan	Biaya Konstruksi (Rp)
<i>FP</i>	10,93 m ² /m ³ air limbah	55.514x10 ³ /P.E
<i>CMAS</i>	0,04 m ² /m ³ air limbah	74.191x10 ³ /P.E
<i>OD</i>	0,33 m ² /m ³ air limbah	1.575.442x10 ³ /P.E
<i>SBR</i>	0,26 m ² /m ³ air limbah	23.511.579x10 ³ /P.E
<i>TF</i>	1 m ² /m ³ air limbah	49.395.009x10 ³ /P.E
<i>RBC</i>	0,08 m ² /m ³ air limbah	10.993.191x10 ³ /P.E

Sumber: Hasil perhitungan peneliti, 2019

Metode yang digunakan dalam perencanaan ini untuk mengonversikan pertimbangan alternatif menjadi sebuah nilai adalah metode WRT (*Weighted Ranking Technique*). Pembobotan metode WRT adalah membandingkan faktor pembanding satu dengan lainnya, sehingga didapatkan koefisien pentingnya faktor (KPF) dan menentukan nilai koefisien pentingnya angka (KPA). Pemilihan alternatif terbaik ditentukan dengan mengalikan nilai KPF dan KPA, dan dicari hasil yang paling tinggi. Rekapitulasi perhitungan KPF dan KPA dapat dilihat pada **Tabel 6**. Hasil perbandingan menggunakan metode WRT teknologi yang memiliki bobot tertinggi adalah *Complete Mix Activated Sludge (CMAS)*[6], [12].

Tabel 6. Rekapitulasi hasil perhitungan KPF dan KPA

Parameter	FP	CMAS	OD	SBR	TF	RBC
Kemudahan Operasi	0,04	0,028	0,028	0,016	0,004	0,004
SDM	0,04	0,008	0,008	0,008	0,028	0,028
Jumlah Lumpur	0,04	0,016	0,00	0,008	0,028	0,028
Kualitas Efluen	0,00	0,036	0,016	0,036	0,008	0,024
Kebutuhan Lahan	0,00	0,04	0,024	0,008	0,016	0,032
<i>Capital Cost</i>	0,036	0,032	0,00	0,016	0,008	0,028
Jumlah	0,155	0,159	0,075	0,091	0,091	0,143

Sumber: Hasil perhitungan peneliti, 2019

Berdasarkan **Tabel 6**, teknologi terpilih adalah *Complete Mix Activated Sludge (CMAS)* dengan rangkaian sistem pengolahan dapat dilihat pada **Gambar 1**.

Gambar 1. Rangkaian sistem pengolahan air limbah menggunakan teknologi CMAS
Sumber: Hasil analisis peneliti, 2020

Perencanaan Instalasi Pengolahan Air Limbah

Perencanaan IPAL Kawasan *Aerocity X* diawali dengan menghitung dimensi unit saluran pembawa dan *bar screen* dimana pada perencanaannya disediakan dua jenis *bar screen* untuk mengantisipasi ketika terjadi kerusakan. Hasil perencanaan unit *bar screen* dapat dilihat pada **Tabel 7**. Perhitungan dimensi unit saluran pembawa dan *bar screen* sebagai berikut.

Menghitung luas saluran pembawa air limbah, dengan kecepatan memasuki saluran pembawa direncanakan 0,5 m/s.

- $A = Qr/v$ approach
 $A = 1,9 \text{ m}^3/\text{s} / 0,5 \text{ m/s}$
 $A = 3,8 \text{ m}^2$

Menghitung dimensi saluran pembawa. Jika rasio kedalaman: lebar adalah 1,5:1.

- $A = h \times L$
 $A = (1,5 L) \times L$
 $L = (A/1,5)^{0,5}$
 $L = (3,8 \text{ m}^2/1,5)^{0,5}$
 $L = 1,6 \text{ m}$

Menghitung luas saluran pembawa air limbah, dengan debit maksimum.

- $A = Qr/v$ approach
 $A = 3,99 \text{ m}^3/\text{s} / 0,5 \text{ m/s}$
 $A = 7,98 \text{ m}^2$

Menghitung dimensi saluran pembawa pada kondisi maksimum dengan lebar saluran 1,6 m.

- $A = h \times L$
 $h = A / L$
 $h = 7,98 \text{ m}^2 / 1,6 \text{ m}$
 $h = 5 \text{ m}$

Menghitung jumlah bar yang digunakan. Perencanaan lebar bar sebesar 15 mm (0,015 m) dan bukaan bar sebesar 30 mm (0,03 m).

- Jumlah bar = (lebar saluran – bukaan bar) / (lebar bar + bukaan bar)
 $\text{Jumlah bar} = (1,6 \text{ m} - 0,03 \text{ m}) / (0,015 + 0,03 \text{ m})$
 $\text{Jumlah bar} = 34 \text{ buah}$

Tabel 7. Rekapitulasi hasil perencanaan dimensi unit *Bar Screen*

Uraian	Satuan	Nilai
Saluran Pembawa		
Bahan dasar saluran pembawa	-	beton
Jumlah Saluran Pembawa	unit	2
Kecepatan (<i>v_{approach}</i>)		
Kondisi debit maksimum	m/s	0,65
Kondisi debit rata-rata	m/s	0,59
Kondisi debit minimum	m/s	0,53
Kedalaman	m	5
Lebar	m	1,6
<i>Mechanical Bar Screen</i>		
Lebar <i>bar</i>	mm	15
Jarak antar <i>bar</i> atau bukaan	mm	30
Kemiringan <i>bar</i> (dari vertikal)	derajat	30
Jumlah <i>bar</i>	buah	34
<i>Headloss</i>		
Kondisi tidak tersumbat	mm	13,15
Kondisi tersumbat	mm	146,83
<i>Manual Bar Screen</i>		
Lebar <i>bar</i>	mm	15
Jarak antar <i>bar</i> atau bukaan	mm	25
Kemiringan <i>bar</i> (dari vertikal)	derajat	30
Jumlah <i>bar</i>	buah	39
<i>Headloss</i>	mm	18,18

Sumber: Hasil perhitungan peneliti, 2020

Sump pit direncanakan untuk menaikkan air limbah ke unit pengolahan berikutnya. Waktu detensi air limbah yang direncanakan Rekapitulasi perencanaan unit *sump pit* dapat dilihat **Tabel 8**. Perhitungan dimensi *sump pit* sebagai berikut.

Menghitung volume tangki dengan waktu detensi 10 menit.

- $V = Q \times T_d$
 $V = 3,99 \text{ m}^3/\text{s} \times 600 \text{ s}$
 $V = 2.394 \text{ m}^3$

Menghitung diameter tangki dengan kedalaman direncanakan 10 m.

- $D = (4 \times V / \pi \times h)^{0,5}$
 $D = (4 \times 2.394 \text{ m}^3 / \pi \times 10 \text{ m})^{0,5}$
 $D = 17 \text{ m}$

Menentukan jumlah dan jenis pompa. Jumlah pompa yang dibutuhkan dilihat dari debit yang akan disalurkan. Debit yang lebih besar dari 11.370 L/menit dianjurkan menggunakan 6 buah pompa dengan konfigurasi 5 unit beroperasi dan 1 unit cadangan. Maka, debit tiap pompa:

- $Q_{\text{pompa}} = Q / 5 \text{ unit pompa}$
 $Q_{\text{pompa}} = 3,99 \text{ m}^3/\text{s} / 5 \text{ unit pompa}$
 $Q_{\text{pompa}} = 0,798 \text{ m}^3/\text{s}$
 $Q_{\text{pompa}} = 0,798 \text{ m}^3/\text{s} \times 1.000 \text{ dm}^3 / \text{m}^3 \times 86.400 \text{ s/jam}$
 $Q_{\text{pompa}} = 2.872 \text{ m}^3/\text{jam}$
 Jenis pompa yang digunakan adalah;
 Tipe: AT600WQ4000-12-200
 Kapasitas: 3.000 m³/jam
 Daya: 200 kW

Tabel 8. Rekapitulasi hasil perencanaan dimensi unit *Sump Pit*

Uraian	Satuan	Nilai
Jumlah Unit	buah	1
Waktu Detensi	menit	10
Kedalaman	m	10
Diameter	m	17
Panjang	m	0,5
Jumlah Pompa	unit	6

Sumber: Hasil perhitungan peneliti, 2020

Grit chamber direncanakan untuk melindungi beberapa peralatan mekanis, mengurangi terbentuknya endapan dalam pipa dan saluran, serta tujuan utamanya adalah memisahkan *grit* (pasir, kerikil, dan material lainnya yang memiliki kecepatan pengendapan lebih besar dari partikel organik). Perhitungan dimensi *grit chamber* sebagai berikut.

Menghitung volume tangki *grit chamber* dengan waktu detensi 180 s.

- $V = Q \times T_d$
 $V = 3,99 \text{ m}^3/\text{s} \times 180 \text{ s}$
 $V = 718,2 \text{ m}^3$

Menghitung panjang tangki dengan kedalaman 5 m dan lebar 7 m.

- $V = P \times L \times H$
 $P = 718,2 \text{ m}^3 / 7 \text{ m} \times 5 \text{ m}$
 $P = 20,5 \text{ m}$

Menghitung volume pengumpul *grit*, jika jumlah *grit* yang dikumpulkan mencapai $0,2 \text{ m}^3 / 1.000 \text{ m}^3$ air limbah.

- $V_{\text{grit}} = (0,2 \text{ m}^3 / 1.000 \text{ m}^3) \times 3,99 \text{ m}^3/\text{s}$
 $V_{\text{grit}} = 68,94 \text{ m}^3$

Menghitung kedalaman pengumpul *grit*, jika direncanakan lebar pengumpul *grit* sama dengan panjang bak dan lebar saluran 3 m.

- $V_{\text{grit}} = P_{\text{grit}} \times L_{\text{grit}} \times H_{\text{grit}}$
 $H_{\text{grit}} = 68,94 \text{ m}^3 / (20,5 \text{ m} \times 3 \text{ m})$
 $H_{\text{grit}} = 1,12 \text{ m}$

Menghitung kedalaman total tangki.

- $H_{\text{total}} = H + H_{\text{grit}}$
 $H_{\text{total}} = 5 \text{ m} + 1,12 \text{ m}$
 $H_{\text{total}} = 6,12 \text{ m}$

Rekapitulasi perencanaan unit *aerated grit chamber* dapat dilihat **Tabel 9**.

Tabel 9. Rekapitulasi hasil perencanaan dimensi unit *Aerated Grit Chamber*

Uraian	Satuan	Nilai
Jumlah Unit	buah	2
Waktu Detensi	s	180
Kedalaman	m	5
Lebar	m	7
Panjang	m	20,5
Suplai Udara Flow rate (Af)	$\text{m}^3/\text{s} \cdot \text{m}$	0,0125
Letak diffuser (db)	m	0,6
Kecepatan	m/s	0,0524
Jumlah timbunan <i>Grit</i>	m^3	68,94

Sumber: Hasil perhitungan peneliti, 2020

Instalasi yang menggunakan teknologi *complete mix activated sludge* membutuhkan *primary clarifier*. *Primary clarifier* atau disebut juga bak pengendap pertama dapat menyisihkan kandungan BOD. Rekapitulasi perencanaan unit *aerated grit chamber* dapat dilihat **Tabel 10**. Perhitungan dimensi unit *clarifier I* sebagai berikut.

Menghitung luas tangki menggunakan *overflow rate* sebesar $60 \text{ m}^3 / \text{h} \cdot \text{m}^2$.

- $A_{\text{tangki}} = Q / v_o$
 $A_{\text{tangki}} = (3,99 \text{ m}^3/\text{s} \times 86.400 \text{ s/hari} / 4 \text{ unit}) / 60 \text{ m}^3 / \text{h} \cdot \text{m}^2$
 $A_{\text{tangki}} = 1.436,4 \text{ m}^2 \text{ per unit}$

Menghitung diameter tangki.

- $D = (A_{\text{tangki}} \times 4 / \pi)^{0,5}$
 $D = (1.436,4 \text{ m}^2 \times 4 / \pi)^{0,5}$
 $D = 42 \text{ m}$

Tabel 10. Rekapitulasi hasil perencanaan dimensi unit *Clarifier I*

Uraian	Satuan	Nilai
Jumlah Unit	buah	4
Overflow rate	m ³ /h.m ²	60
Waktu Detensi	Jam	1,54
Flow velocity	m/s	0,029
Weir loading rate	m ³ /h.m	653,3
Diameter	m	42
Kedalaman	m	4

Sumber: Hasil perhitungan peneliti, 2020

Unit *complete mix activated sludge (CMAS)* direncanakan dapat mengolah konsentrasi air limbah (khususnya BOD dan TSS) mencapai standar baku mutu kawasan *Aerocity X*. Rekapitulasi perencanaan unit *complete mix activated sludge* dapat dilihat **Tabel 11**. Perhitungan dimensi unit *CMAS* sebagai berikut.

Menghitung volume tangki. Tangki CMAS direncanakan sebanyak 6 unit.

- $Q_{\text{unit}} = Q / 6 \text{ tangki}$
 $Q_{\text{unit}} = 3,99 \text{ m}^3/\text{s} / 6 \text{ tangki}$
 $Q_{\text{unit}} = 0,66 \text{ m}^3/\text{s}$
- $V = \{(\theta_c \times Y \times Q \times (S_e - S)) / \{X(1 + k_d \times \theta_c)\}\}$
 $V = \{(8 \text{ hari} \times 0,5 \times 0,66 \text{ m}^3/\text{s} \times (202 \text{ mg/l} - 18,62 \text{ mg/l})) / \{3.000 \text{ mg/l} (1 + 0,05/\text{hari} \times 8 \text{ hari})\}\}$
 $V = 14.063,4 \text{ m}^3$

Menghitung dimensi tangki. Direncanakan kedalaman bak 5 m, tangki berbentuk persegi panjang.

- $A_{\text{tangki}} = V / H_{\text{tangki}}$
 $A_{\text{tangki}} = 14.063,4 \text{ m}^3 / 5 \text{ m}$
 $A_{\text{tangki}} = 2.812,67 \text{ m}^2$
- $A_{\text{tangki}} = P \times L$
 $A_{\text{tangki}} = (2 L) \times L$
 $L = (A_{\text{tangki}} / 2)^{0,5}$
 $L = (2.812,67 \text{ m}^2 / 2)^{0,5}$
 $L = 37,5 \text{ m}$
 $P = 75 \text{ m}$

Tabel 11. Rekapitulasi hasil perencanaan dimensi unit *Complete Mix Activated Sludge*

Uraian	Satuan	Nilai
Jumlah Unit	buah	6
Mean cell residence time (θ_c)	hari	8
Organic loading	kg BOD/m ³ .hari	0,92
Hydraulic retention time (θ)	jam	2,48
Rasio resirkulasi	-	0,42
Rasio F/M	-	0,25
MLVSS	Mg/l	3
MLSS	Mg/l	3,75
Panjang	m	75
Lebar	m	37,5
Kedalaman	m	5
Konstanta Pertumbuhan mikroba K_d	d ⁻¹	0,05
Y	mg VSS/mg BOD	0,5

Sumber: Hasil perhitungan peneliti, 2020

Perencanaan teknologi CMAS diikuti dengan unit *clarifier II* yang berfungsi untuk mengendapkan padatan flokulasi yang besar dari efluen biologis. Rekapitulasi perencanaan unit *clarifier II* dapat dilihat **Tabel 12**. Perhitungan dimensi *clarifier II* dapat dilihat sebagai berikut.

Menghitung luas tangki menggunakan *overflow rate* sebesar 50 m³/ h. m².

- $A_{\text{tangki}} = Q / v_o$
 $A_{\text{tangki}} = (3,99 \text{ m}^3/\text{s} \times 86.400 \text{ s/hari} / 6 \text{ unit}) / 50 \text{ m}^3/\text{h. m}^2$
 $A_{\text{tangki}} = 1.641,6 \text{ m}^2 \text{ per unit}$

Menghitung diameter tangki.

- $D = (A_{\text{tangki}} \times 4 / \pi)^{0.5}$
 $D = (1.641,6 \text{ m}^2 \times 4 / \pi)^{0.5}$
 $D = 46 \text{ m}$

Tabel 12. Rekapitulasi hasil perencanaan dimensi unit *Clarifier II*

Uraian	Satuan	Nilai
Jumlah Unit	buah	6
<i>Overflow rate</i>	m ³ /h.m ²	50
Waktu Detensi	Jam	1,89
<i>Weir loading rate</i>	m ³ /h.m	568
Diameter	m	46
Kedalaman	m	3,9

Sumber: Hasil perhitungan peneliti, 2020

Instalasi pengolahan air limbah yang sudah direncanakan akan ditempatkan di Zona C, yang dipergunakan untuk *Energy Center*. Estimasi lahan yang dibutuhkan untuk mengolah air limbah di Kawasan *Aerocity X* adalah 9.446,51 m²/m³ air limbah yang ditimbulkan. Rekapitulasi penggunaan lahan instalasi pengolahan air limbah dapat dilihat **Tabel 13**.

Tabel 13. Indeks kebutuhan lahan

Unit	Jumlah	Luas (m ²)	Luas total (m ²)	Indeks Kebutuhan Lahan (m ² / m ³ air limbah)
<i>Bar screen</i>	2	8	16	56,85
<i>Sump Pit</i>	1	226,86	226,86	4,01
<i>Grit chamber</i>	2	143,5	287	71,93
<i>Clarifier I</i>	4	1.384,74	5.538,96	1.388,21
<i>Complete Mix Activated Sludge</i>	6	2.812,5	16.875	4.229,32
<i>Clarifier II</i>	6	1.661,06	14.247,8	3.570,865
Kantor	1	500	500	125,31
Total			37.692	9.446,51

Sumber: Hasil perhitungan peneliti, 2020

Instalasi pengolahan air limbah yang sudah direncanakan akan ditempatkan di Zona C, yang dipergunakan untuk *Energy Center*. Estimasi lahan yang dibutuhkan untuk mengolah air limbah di Kawasan *Aerocity X* adalah 9.446,51 m²/m³ air limbah terolah.

Perencanaan instalasi pengolahan air limbah di Kawasan Industri *Aerocity X* Kabupaten Majalengka terdiri dari beberapa unit. Rencana anggaran biaya untuk pembangunan IPAL di kawasan tersebut terdiri dari pekerjaan persiapan, pembangunan masing-masing unit pengolahan, alokasi jasa dan PPN sebesar 10%. Hasil rekapitulasi rencana anggaran biaya dapat dilihat **Tabel 14**.

Tabel 14. Indeks kebutuhan biaya

No.	Uraian Pekerjaan	Indeks Kebutuhan Biaya (per m ³ air limbah)
1.	Pekerjaan Persiapan Pembangunan	Rp31.369.899,37
2.	Pembangunan Bar Screen	Rp23.109.915,93
3.	Pembangunan Sump Pit	Rp51.822.249,83
4.	Pembangunan Grit Chamber	Rp85.391.690,77
5.	Pembangunan Clarifier I (4 unit)	Rp521.615.247,09
6.	Pembangunan CMAS (6 unit)	Rp2.776.312.614,81
7.	Pembangunan Clarifier II (6 unit)	Rp1.154.619.644,52
A.	Sub Total I (1+2+3+4+5+6+7)	Rp4.644.241.262,32
B.	Jasa 10%	Rp464.424.126,23
C.	Sub Total II (A+B)	Rp5.108.665.388,55
D.	PPN 10%	Rp510.868.538,85
	JUMLAH TOTAL (C+D)	Rp5.619.531.927,40

Sumber: Hasil perhitungan peneliti, 2020

Berdasarkan **Tabel 14** menunjukkan bahwa estimasi kebutuhan biaya sebesar Rp5.619,53x10⁶ per m³ air limbah terolah. IPAL direncanakan dapat mengolah air limbah menggunakan sistem pompa dan gravitasi, gambar profil hidrolis dapat dilihat pada **Gambar 2**.

Gambar 2. Profil hidrolis pengolahan air limbah kawasan Aerocity X
Sumber: Hasil analisis peneliti, 2020

4. Kesimpulan

Berdasarkan hasil perencanaan instalasi pengolahan air limbah yang diterapkan pada Kawasan Aerocity X menggunakan teknologi pengolahan biologis yaitu *Complete Mix Activated Sludge (CMAS)*. Rangkaian instalasi pengolahan yang direncanakan yaitu *bar screen*, *sump pit*, *grit chamber*, *clarifier I*, *completed mix activated sludge*, dan *clarifier II* dengan nilai indeks kebutuhan lahan yang dibutuhkan senilai 9.446,5 m²/m³ air limbah terolah. Sedangkan rencana anggaran biaya untuk perencanaan instalasi pengolahan air limbah yang diproyeksikan sebesar Rp5.619,53 x 10⁶ per m³ air limbah yang terolah.

5. Referensi

- [1] Pemerintah Daerah Kabupaten Majalengka, "RPIJM Kabupaten Majalengka 2015 - 2019," pp. 5–37, 2011.
- [2] P. L. ITB, "Rencana Bisnis Energy Center Aerocity," 2018.
- [3] S. Jafarinejad, "Economic Analysis: Trickling Filter/Activated Sludge or Nitrifying Trickling Filter/Activated Sludge?," *Ecological Chemistry and Engineering S*, vol. 26, no. 2. Scienco, pp. 345–356, 2019.
- [4] M. Pekerjaan, U. Dan, P. Rakyat, and R. Indonesia, "JDIH Kementerian PUPR," vol. 5, pp. 1–20, 2016.
- [5] A. Alatas, *Perencanaan Pembangunan Sistem Distribusi Air Minum di Kecamatan Muara Enim Kabupaten Muara Enim Provinsi Sumatera Selatan*. Bandung: ITENAS, 2017.
- [6] G. A. Rahmawati, *Perencanaan Instalasi Pengolahan Air Limbah Mal X Kota Bandung*. Bandung: ITENAS, 2019.
- [7] N. Wikaningrum, T., *Kebijakan Pengelolaan Lingkungan Kawasan Industri Sesuai Proper KLHK Peringkat Hijau (Studi Kasus di Kawasan Industri Jababeka Bekasi)*. Bogor: IPB, 2015.
- [8] N. I. Said, "Pengolahan Air Limbah Rumah Sakit Dengan Proses Biologis Biakan Melekat Menggunakan Media Palstik Sarang Tawon," *J. Teknol. Lingkung.*, vol. 2, no. 3, 2011.

- [9] P. D. Mackenzie L. Davis P.E., DEE, *Water and Wastewater Engineering: Design Principles and Practice*. New York: McGraw-Hill Education, 2010.
- [10] S. Asmadi, *Dasar-dasar Teknologi Pengolahan Air Limbah*. Yogyakarta: Gosyen Publishing, 2012.
- [11] G. L. Karia and R. A. Christian, *Wastewater Treatment: Concepts and Design Approach*. 2013.
- [12] I. P. Ginting, "Sistem Pengelolaan Lingkungan dan Limbah Industri," 2018.