



TUGAS AKHIR – RE 141581

PERENCANAAN INSTALASI PENGOLAHAN AIR LIMBAH DAN SISTEM DAUR ULANG AIR HOTEL BUDGET DI KOTA SURABAYA

ROSALINA EKA PRAPTIWI
3313100084

Dosen Pembimbing

Prof. Dr. Ir. Nieke Karnaningroem, MSc.

JURUSAN TEKNIK LINGKUNGAN
Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya 2017



TUGAS AKHIR – RE 141581

PERENCANAAN INSTALASI PENGOLAHAN AIR LIMBAH DAN SISTEM DAUR ULANG AIR HOTEL BUDGET DI KOTA SURABAYA

ROSALINA EKA PRAPTIWI
3313100084

Dosen Pembimbing

Prof. Dr. Ir. Nieke Karnaningroem, MSc.

DEPARTEMEN TEKNIK LINGKUNGAN
Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya 2017



FINAL PROJECT – RE 141581

DESIGN OF WASTEWATER TREATMENT PLANT AND WATER REUSE SYSTEM FOR BUDGET HOTEL IN SURABAYA

ROSALINA EKA PRAPTIWI
3313100084

Supervisor

Prof. Dr. Ir. Nieke Karnaningroem, MSc.

DEPARTMENT OF ENVIRONMENTAL ENGINEERING
Faculty of Civil Engineering and Planning
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya 2017

LEMBAR PENGESAHAN

PERENCANAAN INSTALASI PENGOLAHAN AIR LIMBAH DAN SISTEM DAUR ULANG AIR HOTEL BUDGET DI KOTA SURABAYA

TUGAS AKHIR

Diajukan Untuk Memenuhi Salah Satu Syarat Memperoleh Gelar
Sarjana Teknik
pada
Program Studi S-1 Departemen Teknik Lingkungan
Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan
Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Oleh:

ROSALINA EKA PRAPTIWI
NRP 3313 100 084

Disetujui oleh Pembimbing Tugas Akhir :



Prof. Dr. Ir. Nieke Kamaningroem, MSc.

NIP : 19550128 198503 2 001



PERENCANAAN INSTALASI PENGOLAHAN AIR LIMBAH DAN SISTEM DAUR ULANG AIR HOTEL BUDGET DI KOTA SURABAYA

Nama : Rosalina Eka Praptiwi
NRP : 3313100084
Departemen : Teknik Lingkungan
Dosen Pembimbing : Prof. Dr. Ir. Nieke Karnaningroem, MSc.

ABSTRAK

Dalam dua tahun terakhir, banyak hotel budget bermunculan di Kota Surabaya. Hotel budget menawarkan fasilitas kamar standar yang nyaman dengan harga terjangkau. Sumber air limbah kegiatan perhotelan berasal dari kamar mandi (*grey water*), *laundry*, dapur, *over flow* tangki septik (*septic tank*), air bekas wudhu, dan lain-lain. Air limbah yang tidak diolah dengan baik akan menyebabkan pencemaran pada badan air. Selain berdampak negatif terhadap kesehatan, pencemaran badan air juga dapat menyebabkan berkurangnya sumber air bersih.

Pengolahan air limbah dengan proses biofilter anaerob-aerob adalah proses pengolahan air limbah dengan menggabungkan proses biofilter anaerob dan aerob. Kombinasi proses anaerob dan aerob dapat menurunkan zat organik (BOD dan COD), amonia, deterjen, padatan tersuspensi (SS), fosfat dan lainnya.

Karakteristik air limbah diambil dari salah satu hotel budget di Kota Surabaya. Hasil uji laboratorium sampel air yaitu pH 7,2; TSS 3.972 mg/L; COD 5.680 mg/L; BOD 3.520 mg/L; nitrogen 36,29 mg/L; fosfat 30,02 mg/L. Efluen IPAL akan dimanfaatkan kemali untuk *toilet flushing*, sehingga direncanakan pula sistem plambing untuk keperluan tersebut. Sistem plambing yang direncanakan untuk bangunan hotel 11 lantai dengan 150 kamar standar.

Biofilter anaerob-aerob menghasilkan efluen dengan konsentrasi TSS 48,76 mg/L, COD 37,56 mg/L, dan BOD 5,47 mg/L. Efisiensi penyisihan mencapai 98,77% TSS, 99,34% COD, dan 99,84% BOD. Konstruksi biofilter anaerob-aerob terdiri dari

bahan fiber dan beton dengan dimensi 16,35 m × 3,8 m × 3 m. Perencanaan IPAL membutuhkan biaya untuk tahap konstruksi sebesar Rp 268.674.048,00 dan biaya untuk operasional dan perawatan sebesar Rp 3.420.825,00 per bulan.

Perencanaan sistem plambing untuk pemanfaatan kembali efluen IPAL membutuhkan tangki bawah yang ditanam di bawah lantai basemen dengan dimensi 3 m × 3 m × 2,8 m dan satu tangki silinder untuk tangki atas berkapasitas 22.500 L. Pembangunan sistem plambing membutuhkan biaya sebesar Rp 112.912.751,00.

Kata kunci: hotel budget, biofilter anaerob-aerob, pemanfaatan kembali, sistem plambing, Surabaya

DESIGN OF WASTEWATER TREATMENT PLANT AND WATER REUSE SYSTEM FOR BUDGET HOTEL IN SURABAYA

Name : Rosalina Eka Praptiwi
NRP : 3313100084
Department : Environmental Engineering
Supervisor : Prof. Dr. Ir. Nieke Karnaningroem, MSc.

ABSTRACT

In the last two years, many budget hotel had sprung up in Surabaya. Budget hotel offered standard comfortable room facilities at an affordable cost. Source of wastewater of hospitality activities came from bathroom (grey water), laundry, kitchen, over flow septic tank, water ablution, and others. Wastewater that not treated properly would cause contamination of water bodies. In addition to the negative impact on health, water body pollution could also cause scarcity of clean water resources.

Wastewater treatment with anaerobic-aerobic biofilter process is a wastewater treatment process by combining anaerobic and aerobic biofilter processes. Combination of anaerobic and aerobic processes can decrease organic matter (BOD and COD), ammonia, detergents, suspended solid (SS), phosphates, and others.

Wastewater characteristic were taken from one of the budget hotels in Surabaya. Laboratory analysis result for wastewater sampel was pH 7.2; TSS 3.972 mg / L; COD 5.680 mg / L; BOD 3.520 mg / L; Nitrogen 36.29 mg / L; Phosphate 30.02 mg / L. Wastewater treatment plant effluent would be used for flushing toilets, so plumbing system was planned for that purpose. Plumbing system was planned for 11 storeys hotel building with 150 standard rooms.

Anaerobic-aerobic biofilter produced effluent with TSS 48,75 mg/L, COD 37,56 mg/L, and BOD 5,47 mg/L. Performance removal efficiency reach 98,77% TSS, 99,34% COD, and 99,84% BOD. Construction of anaerobic-aerobic biofilter consist of fiber and concrete with dimensions 16,35 m × 3,8 m × 3 m. Design of wastewater treatment plant required Rp 268.674.048,00 for

construction and Rp 3.420.825,00 per month for operational and maintenance.

Plumbing system planned for wastewater treatment effluent reuse required a bottom tank that planted below the floor with dimensions of 3 m × 3 m × 2,8 m and one cylindrical tank with 22.500 L capacity. Construction cost of plumbing system was Rp Rp 112.912.751,00

Key words: budget hotel, anaerob-aerob biofilter, reuse, plumbing system, Surabaya

KATA PENGANTAR

Puji syukur penulis panjatkan ke hadirat Tuhan Yang Maha Esa atas berkat dan rahmat-Nya laporan tugas akhir ini dapat diselesaikan tepat waktu. Tugas akhir berjudul "Perencanaan Instalasi Pengolahan Air Limbah dan Sistem Daur Ulang Air Hotel Budget di Kota Surabaya" disusun dalam rangka memenuhi tugas akhir dengan memperdalam ilmu teknik lingkungan, khususnya pengolahan air limbah dan plambing. Dalam penyusunan laporan ini, penulis menyampaikan terima kasih kepada:

1. Keluarga penulis, terutama kedua orang tua yang selalu mendo'akan dan memberikan dukungan.
2. Ibu Prof. Dr. Ir. Nieke Karnaningroem, MSc. sebagai dosen pembimbing. Terimakasih atas kesediaan, waktu, kesabaran, motivasi, masukan dan ilmu yang diberikan selama proses pembimbingan tugas akhir.
3. Bapak Prof. Dr. Ir. Sarwoko Mangkoedihardjo, M.ScEs, Bapak Dr. Ir. Mohammad Razif, MM., dan Bapak Abdu Fadli Assomadi, S.Si, MT, selaku dosen pengarah, terimakasih atas kesediaan, waktu, masukan, dan ilmu yang diberikan selama proses sidang hingga pembenaran laporan ini.
4. Bapak Edi Pratikno, selaku laboran Laboratorium Kualitas Lingkungan Departemen Teknik Lingkungan ITS, terimakasih atas kesediaan dalam menganalisis sampel air limbah untuk tugas akhir ini.
5. Teman-teman mahasiswa teknik lingkungan, terimakasih atas bantuan dan dukungannya.

Penyusunan laporan ini telah diusahakan semaksimal mungkin, namun tentunya masih terdapat kesalahan. Diharapkan ada saran dan kritik yang membangun untuk penulis.

Surabaya, Juli 2017

Penulis

Halaman ini sengaja dikosongkan

DAFTAR ISI

ABSTRAK	i
ABSTRACT	iii
KATA PENGANTAR	v
DAFTAR ISI	vii
DAFTAR TABEL	ix
DAFTAR GAMBAR	xi
DAFTAR LAMPIRAN	xiii
BAB 1 PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	3
1.3 Tujuan	3
1.4 Ruang Lingkup	3
1.5 Manfaat	4
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	5
2.1 Karakteristik Air Limbah	5
2.2 Kriteria Mutu Air	8
2.3 Pengolahan Air Limbah	8
2.3.1 Proses Pengolahan Mikroorganismes Tersuspensi	9
2.3.2 Proses Pengolahan Mikroorganismes Terlekat	10
2.3.3 Proses Pengolahan Secara Anaerobik	10
2.3.4 Proses Pengolahan Secara Aerobik	13
2.4 Biofilter Anaerob-Aerob	14
2.4.1 Proses Biofilter	15
2.4.2 Pengolahan Air Limbah pada Biofilter Anaerob- Aerob	17
2.4.3 Kelebihan Proses Biofilter Anaerob-Aerob	18
2.4.4 Media Filter	19
2.4.5 Faktor-faktor yang Mempengaruhi Efisiensi Biofilter	20
2.5 Sistem Plambing	24
2.5.1 Perancangan Sistem Pipa	26
2.5.2 Penentuan Dimensi Pipa	26
2.6 Studi Terdahulu	29
BAB III METODOLOGI PERANCANGAN	33
3.1 Kerangka Perencanaan	33
3.2 Tahapan Perencanaan	34
BAB IV ` HASIL DAN PEMBAHASAN	37

4.1	Debit Air Limbah Hotel Budget	37
4.2	Karakteristik Air Limbah.....	39
4.3	Bak Ekualisasi	40
4.4	Biofilter Anaerob-Aerob	44
4.5	Efisiensi Penyisihan.....	47
4.5.1	Bak Pengendap Awal	47
4.5.2	Bak Anaerob	48
4.5.3	Bak Aerob	50
4.6	Kesetimbangan Massa	53
4.7	Dimensi.....	65
4.7.1	Bak Pengendap Awal	65
4.7.2	Bak Anaerob	68
4.7.3	Bak Aerob	70
4.7.4	Bak Pengendap Akhir	73
4.8	Profil Hidrolis.....	74
4.8.1	Bak Pengendap Awal	76
4.8.2	Bak Anaerob	77
4.8.3	Bak Aerob	80
4.8.4	Bak Pengendap Akhir	82
4.9	BOQ dan RAB IPAL.....	85
4.10	Perencanaan Sistem Plambing	93
4.11	Kapasitas Tangki Bawah	94
4.12	Kapasitas Tangki Atas	95
4.13	Dimensi Pipa.....	95
4.13.1	Dimensi Pipa Transmisi	96
4.13.2	Dimensi Pipa Tegak.....	97
4.13.3	Dimensi Pipa Distribusi Air	99
4.14	BOQ dan RAB Plambing	100
BAB 5	KESIMPULAN DAN SARAN	104
5.1	Kesimpulan	105
5.2	Saran	105
DAFTAR PUSTAKA.....		xvii
BIOGRAFI PENULIS		xxi
LAMPIRAN		xxii

DAFTAR TABEL

Tabel 2. 1	Kriteria Mutu Air Kelas Tiga	8
Tabel 2. 2	Pemakaian Air Tiap Alat Plumbing, Laju Aliran Airnya, dan Ukuran Pipa Cabang Pipa Air.....	27
Tabel 2. 3	Unit Alat Plumbing Untuk Penyediaan Air Dingin ...	28
Tabel 4. 1	Debit Penggunaan Air Bersih Hotel Z	37
Tabel 4. 2	Debit Penggunaan Air Bersih dalam Satu Hari.....	38
Tabel 4. 3	Karakteristik Air Limbah Hotel Z	40
Tabel 4. 4	Perhitungan Volume Kumulatif	41
Tabel 4. 5	Efisiensi Penyisihan	52
Tabel 4. 6	Dimensi IPAL	74
Tabel 4. 7	Profil Hidrolis Biofilter Anaerob-Aerob	83
Tabel 4. 8	HSPK IPAL.....	85
Tabel 4. 9	BOQ dan RAB IPAL	91
Tabel 4. 10	Biaya Operasional dan Perawatan IPAL	92
Tabel 4. 11	Dimensi Pipa Tegak	98
Tabel 4. 12	Dimensi Pipa Distribusi Air.....	99
Tabel 4. 13	BOQ Pemasangan Pipa.....	101
Tabel 4. 14	Rencana Anggaran Biaya Pemasangan Pipa Plumbing	101
Tabel 4. 15	BOQ dan RAB Tangki Bawah.....	102

Halaman ini sengaja dikosongkan

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2. 1	Prinsip Penyisihan COD dalam Proses Anaerobik ..	11
Gambar 2. 2	Mekanisme Proses Metabolisme dalam Sistem Biofilm.....	16
Gambar 2. 3	Proses Pengolahan Air Limbah dengan Biofilter Anaerob-Aerob	17
Gambar 2. 4	Hubungan HRT dan Penyisihan COD.....	21
Gambar 2. 5	Hubungan Suhu dan Penyisihan COD.....	21
Gambar 2. 6	Hubungan Konsentrasi COD Masuk dengan Penyisihan COD	22
Gambar 2. 7	Hubungan Luas Permukaan Spesifik Media dengan Penyisihan COD.....	23
Gambar 2. 8	Rasio Efisiensi Penyisihan BOD terhadap Penyisihan COD	24
Gambar 2. 9	Sistem Tangki Atap	25
Gambar 3. 1	Kerangka Perencanaan.....	34
Gambar 4. 1	Fluktuasi Debit Air Bersih Hotel Z	39
Gambar 4. 2	Volume Kumulatif Bak Ekualisasi.....	42
Gambar 4. 3	Skema Pengolahan pada Biofilter Anaerob-Aerob ..	45
Gambar 4. 4	Kesetimbangan Massa.....	62
Gambar 4. 5	Reduksi Volume Lumpur Selama Penyimpanan..	66
Gambar 4. 6	Sketsa Bangunan Hotel.....	93
Gambar 4. 7	Denah Kamar Hotel.....	94

Halaman ini sengaja dikosongkan

DAFTAR LAMPIRAN

- Lampiran 1 Hasil Uji Laboratorium
- Lampiran 2 Detail Engineering Design (DED) IPAL
- Lampiran 3 Sistem Plambing

Halaman ini sengaja dikosongkan

BAB 1

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Hotel budget merupakan hotel dengan pelayanan terbatas, fasilitas kamar standar, dan rata-rata memiliki kurang dari 150 kamar. Hotel budget menyediakan sarana yang sederhana dan nyaman dengan harga terjangkau (Peng *et al.*, 2015). Hotel budget berkembang cepat di Kota Surabaya, pada tahun 2015 terdapat penambahan 1.187 kamar dari 13 hotel budget baru. Total pada akhir tahun 2015, terdapat 2.643 kamar hotel budget (Salanto, 2015). Pada awal tahun 2016 telah dibangun tiga hotel budget baru, yaitu Hotel Evora yang mempunyai 83 kamar, Hotel POP! Diponegoro 116 kamar, dan Favehotel Rungkut 176 kamar. Hal ini menjadikan jumlah kamar hotel budget di Kota Surabaya di pertengahan tahun 2016 mencapai 3.018 kamar (Salanto, 2016).

Kegiatan perhotelan berpengaruh positif terhadap pertumbuhan ekonomi penduduk, tetapi apabila tidak dikelola secara baik, akan berdampak negatif terhadap lingkungan. Hal ini dapat terjadi apabila limbah cair yang dihasilkan dibuang ke lingkungan tanpa memperhatikan daya dukung badan air. Akumulasi limbah tersebut pada gilirannya dapat mempengaruhi terjadinya kelangkaan sumberdaya air bersih (Martono dkk, 2006). Sumber air limbah kegiatan perhotelan berasal dari kamar mandi (*grey water*), *laundry*, dapur, dan dari *over flow* tangki septik (*black water*), air bekas wudlu, dan lain-lain (Setiyono, 2009).

Limbah yang terakumulasi akan menyebabkan kemampuan pemulihan alamiah (*self-purification*) badan air terlampaui sehingga terjadilah peristiwa eutrofikasi. Eutrofikasi menyebabkan kandungan oksigen terlarut dalam air berkurang sehingga membahayakan makhluk hidup yang ada di badan air tersebut (Siswanto dkk, 2014). Pencemaran air bukan hanya membawa dampak negatif pada kesehatan lingkungan, tetapi semakin banyak biaya yang dibutuhkan untuk mendapatkan air bersih. Seringkali sumber air setempat berbahaya untuk diolah karena pencemarannya tinggi (Supriyatno, 2000).

Dalam mempertimbangkan penggunaan alternatif pengolahan air limbah, hal-hal yang harus diperhatikan adalah biaya yang murah (baik dalam pembangunan maupun operasi dan

perawatan), kemudahan operasi dan perawatan, kebutuhan energi (berhubungan dengan biaya operasi rendah), penggunaan bahan kimia (terutama *chlorine* atau jenis desinfektan berbahaya lain), dan kebutuhan lahan yang tidak luas (Mara, 2004).

Alternatif IPAL yang digunakan dalam perancangan ini adalah biofilter anaerob-aerob. Menurut Kemenkes RI (2011), pengolahan air limbah dengan proses biofilter anaerob-aerob adalah proses pengolahan air limbah dengan cara menggabungkan proses biofilter anaerob dan aerob. Proses biofilter anaerob hanya dapat menurunkan polutan organik dan padatan tersuspensi. Dengan proses biofilter aerob, polutan organik yang masih tersisa akan terurai menjadi gas karbondioksida (CO_2) dan air (H_2O), sedangkan amoniak akan teroksidasi menjadi nitrit, selanjutnya akan menjadi nitrat, sedangkan gas H_2S akan diubah menjadi sulfat. Biofilter anaerob-aerob memiliki beberapa keunggulan, antara lain biaya operasinya rendah, lumpur yang dihasilkan relatif sedikit (dibandingkan dengan proses lumpur aktif), dapat menghilangkan nitrogen dan fosfor, suplai udara untuk aerasi relatif kecil, dapat digunakan untuk air limbah dengan beban BOD yang cukup besar, dan dapat menghilangkan padatan tersuspensi dengan baik.

Efluen biofilter anaerob-aerob dimanfaatkan kembali sebagai air untuk *toilet flushing*, sehingga diperlukan perencanaan sistem plambing untuk mengalirkan efluen IPAL menuju toilet-toilet yang ada pada bangunan hotel. Sistem plambing yang digunakan adalah sistem tangki atap, dimana tangki penampung air untuk *toilet flushing* berbeda dengan tangki penampungan air bersih.

Beberapa kendala yang dihadapi dalam menggunakan kembali air limbah yakni karena kualitas air limbah tidak memenuhi syarat kualitas air untuk berbagai keperluan, hal ini disebabkan air mengandung berbagai polutan yang cukup besar. Oleh karena itu, sebelum digunakan kembali (*reuse*), perlu dilakukan pengolahan sampai mencapai kualitas air yang diperbolehkan (Mubin dkk, 2016).

Perencanaan IPAL dengan biofilter anaerob-aerob diharapkan dapat menjadi rekomendasi alternatif IPAL untuk hotel budget di Kota Surabaya, sehingga air limbah hotel budget tidak mencemari badan air. Selain itu diharapkan ada pemanfaatan kembali efluen IPAL untuk kegiatan perhotelan.

1.2 Rumusan Masalah

Rumusan masalah dari perancangan ini adalah:

1. Bagaimana desain biofilter anaerob-aerob sebagai alternatif IPAL hotel budget?
2. Bagaimana perencanaan sistem plambing untuk pemanfaatan efluen IPAL sebagai air untuk *toilet flushing*?
3. Berapa biaya yang diperlukan untuk konstruksi serta operasional dan perawatan IPAL?
4. Berapa biaya yang diperlukan untuk pembangunan sistem plambing ?

1.3 Tujuan

Tujuan pada perancangan ini meliputi:

1. Merencanakan IPAL hotel budget menggunakan alternatif pengolahan biofilter anaerob-aerob
2. Merencanakan sistem plambing untuk pemanfaatan kembali efluen IPAL sebagai air untuk *toilet flushing*
3. Menghitung rencana anggaran biaya tahap konstruksi serta operasional dan perawatan IPAL
4. Menghitung rencana anggaran biaya pembangunan sistem plambing

1.4 Ruang Lingkup

Ruang lingkup dalam perancangan ini adalah:

1. Karakteristik air limbah didapatkan dari salah satu hotel budget di Kota Surabaya, yaitu Hotel Z.
2. Parameter yang digunakan adalah parameter kualitas air yang meliputi pH, TSS, COD, BOD, nitrogen, dan fosfat.
3. Aspek yang diperhatikan pada perancangan ini terdiri dari aspek teknis, meliputi penyisihan parameter dan dimensi; dan aspek biaya meliputi rencana anggaran biaya.
4. Kriteria mutu air untuk dimanfaatkan kembali menggunakan kualitas air kelas tiga berdasarkan Peraturan Pemerintah Republik Indonesia Nomor 82 Tahun 2001 tentang Pengelolaan Kualitas Air dan Pengendalian Pencemaran Air.
5. Sistem plambing direncanakan hingga air dapat digunakan kembali untuk *toilet flushing*.

1.5 Manfaat

Manfaat perancangan ini meliputi:

1. Memberikan rekomendasi desain IPAL untuk hotel budget di Kota Surabaya
2. Memberikan rekomendasi desain pemanfaatan kembali efluen IPAL untuk kegiatan perhotelan pada hotel budget, yaitu untuk *toilet flushing*
3. Menjaga kualitas air sungai di Kota Surabaya, karena air limbah hasil kegiatan perhotelan tidak dibuang ke sungai, melainkan dimanfaatkan kembali

BAB II TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Karakteristik Air Limbah

Dalam menjalankan usahanya, hotel melakukan kegiatan-kegiatan seperti penyewaan kamar, penjualan makanan dan minuman, dan penyediaan pelayanan-pelayanan penunjang lainnya yang bersifat komersial (Said dkk, 2002). Selain untuk penggunaan mandi (*shower*), toilet, dan wastafel untuk keperluan tamu dan karyawan, pemakaian air di sebuah hotel juga dilihat dari fasilitas-fasilitas pendukung lain. Fasilitas yang dimaksud berupa kolam renang, restoran / cafe / dapur, musholla, *bath up*, spa, layanan *laundry*, lounge (menyediakan minum untuk tamu hotel), perawatan tanaman di dalam / luar hotel, *hydrant* dan *springkler* untuk pencegah kebakaran, ketersediaan kolam ikan, air mancur, atau properti-properti serupa yang memakai air secara terus menerus (Ridwan, 2014).

Air limbah hotel dapat dikategorikan sebagai air limbah domestik, karena air limbah bersumber dari kegiatan sehari-hari manusia. Tetapi, karakteristik air limbah hotel berbeda dengan air limbah domestik yang dihasilkan dari kawasan pemukiman. Kuantitas dan kualitas air limbah dipengaruhi oleh banyaknya pengunjung hotel yang menginap, jumlah karyawan, dan fasilitas-fasilitas penunjang yang disediakan.

Air limbah domestik dihasilkan dari air yang digunakan untuk *toilet flushing*, mandi, mencuci, *laundry*, dan dapur. Air limbah domestik terdiri dari 99,9% air dan 0,1% padatan. 70% padatan tersebut merupakan material organik seperti protein, karbohidrat, dan lemak. Sedangkan sisanya merupakan material anorganik seperti material grit, logam, dan garam (Mara, 2004).

Parameter yang digunakan untuk kualitas air limbah dalam perancangan ini meliputi *Total Suspended Solid* (TSS), *Biochemical Oxygen Demand* (BOD), *Chemical Oxygen Demand* (COD), pH, nitrogen (N), dan fosfor (P). Menurut Tchobanoglous *et al.*, (2014), penjelasan masing-masing parameter tersebut adalah sebagai berikut.

1. Total Suspended Solid (TSS)

Merupakan jumlah padatan yang tidak larut dalam air (padatan tersuspensi). TSS dapat menimbulkan endapan lumpur dan kondisi anaerobik apabila air limbah yang tidak diolah langsung dibuang ke badan air. Hasil uji TSS digunakan untuk menilai kinerja proses pengolahan konvensional dan kepentingan filtrasi efluen untuk kebutuhan daur ulang air.

2. Biochemical Oxygen Demand (BOD)

Merupakan jumlah oksigen terlarut yang dibutuhkan mikroorganisme untuk oksidasi material karbon. Jika tersedia cukup oksigen, dekomposisi biologis zat organik secara aerobik dapat berlangsung hingga semua zat organik terdegradasi. Hasil uji BOD digunakan untuk menentukan kuantitas oksigen yang dibutuhkan untuk stabilisasi zat organik secara biologis, menentukan ukuran fasilitas pengolahan air limbah, mengukur efisiensi beberapa proses pengolahan, dan menentukan kesesuaian dengan baku mutu air limbah.

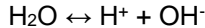
3. Chemical Oxygen Demand (COD)

Menunjukkan jumlah oksigen yang setara zat organik dalam air limbah yang dapat dioksidasi secara kimiawi menggunakan *dichromate* dalam larutan asam. Dalam pengolahan biologis, fraksi partikulat dan terlarut dari COD dibedakan lagi menjadi *readily biodegradable soluble* COD, *slowly biodegradable colloidal and particulate* COD, *nonbiodegradable soluble* COD, dan *nonbiodegradable colloidal and particulate* COD. Tipikal rasio BOD/COD untuk air limbah domestik yang belum diolah adalah 0,3 hingga 0,8. Jika rasio dibawah 0,3 berarti air limbah mengandung komponen toksik atau dibutuhkan aklimatisasi mikroorganisme untuk stabilisasi.

4. pH

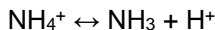
Merupakan konsentrasi ion hidrogen dalam air. Konsentrasi yang sesuai untuk adanya kehidupan biologis adalah 6 – 9. Air limbah dalam konsentrasi ion hidrogen yang ekstrim sulit

diolah dengan proses biologis, dan jika konsentrasinya tidak diubah sebelum dibuang, efluen air limbah akan mengubah konsentrasi pada badan air. Konsentrasi ion hidrogen dalam air erat hubungannya dengan tingkat molekul air yang terdisosiasi. Air akan terdisosiasi menjadi hidrogen dan ion hidroksil seperti berikut ini:



5. Nitrogen (N)

Nitrogen merupakan komponen penting dalam sintesis protein, data nitrogen dibutuhkan untuk mengevaluasi kemungkinan pengolahan air limbah dengan proses biologis. Apabila nitrogen tidak cukup, maka diperlukan penambahan nitrogen agar air limbah tersebut dapat diolah. Namun untuk mengontrol pertumbuhan alga pada badan air, dibutuhkan penyisihan nitrogen sebelum dibuang. Bentuk nitrogen paling umum dan penting dalam air limbah dan kesesuaian oksidasinya dalam air/tanah adalah ammonia (NH_3 , -III), ammonium (NH_4^+ , -III), nitrogen gas (N_2 , 0), ion nitrit (NO_2^- , +III), dan ion nitrat (NO_3^- , +V). Ammonia nitrogen terdapat pada larutan dalam bentuk ion ammonium (NH_4^+) maupun gas ammonia (NH_3), tergantung pH larutan, sesuai dengan persamaan reaksi berikut:



6. Fosfor (P)

Fosfor dalam air limbah dapat diklasifikasikan menjadi dua fraksi, yaitu partikulat dan terlarut. Masing-masing fraksi dapat dibedakan lagi sebagai reaktif dan nonreaktif. Air limbah domestik tipikalnya mengandung 3,7 hingga 11 mg/L fosfor dalam bentuk P. Bentuk terlarut dari fosfor yang ditemukan pada larutan meliputi *orthophosphat* (reaktif), *polyphosphat* (dapat terhidrolisis asam), dan fosfat organik (dapat diendapkan). *Orthophosphat* (seperti PO_4^{3-} , HPO_4^{2-} , H_2PO_4^- , H_3PO_4) dapat digunakan untuk metabolisme biologis tanpa dipecah lagi.

2.2 Kriteria Mutu Air

Efluen hasil pengolahan akan dimanfaatkan kembali sebagai air *toilet flushing*, maka kriteria mutu air yang digunakan sebagai standar kualitas air adalah mutu air kelas tiga berdasarkan Peraturan Pemerintah Republik Indonesia Nomor 82 Tahun 2001 tentang Pengelolaan Kualitas Air dan Pengendalian Pencemaran Air.

Kelas air adalah peringkat kualitas air yang dinilai masih layak untuk dimanfaatkan bagi peruntukan tertentu. Klasifikasi mutu air kelas tiga merupakan air yang peruntukannya dapat digunakan untuk pembudidayaan ikan air tawar, peternakan, air untuk mengairi pertanian, dan atau peruntukan lain yang mempersyaratkan mutu air yang sama dengan kegunaan tersebut.

Tabel 2. 1 Kriteria Mutu Air Kelas Tiga

Parameter	Satuan	Mutu Air
TSS	mg/l	400
BOD	mg/l	6
COD	mg/l	50
pH	-	6 – 9
Total fosfat sebagai P	mg/l	1
NH ₃ -N	mg/l	-

Sumber: Peraturan Pemerintah Nomor 82 Tahun 2001

2.3 Pengolahan Air Limbah

Menurut Tchobanoglus *et al.*, (2014) metode pengolahan air limbah diklasifikasikan menjadi tiga, yaitu pengolahan secara fisik, kimia, dan biologis.

a. Pengolahan Secara Fisik

Pengolahan ini digunakan untuk penyisihan material fisik. Karena sebagian besar dari metode ini dikembangkan dari observasi langsung, pengolahan ini digunakan untuk pengolahan pertama pada pengolahan air limbah. Contoh prosesnya adalah penyaringan, pengadukan, flokulasi, sedimentasi, fotasi, filtrasi dan adsorpsi.

b. Pengolahan Secara Kimia

Pengolahan ini menyisahkan polutan dengan menambahkan bahan kimia atau dengan reaksi kimia. Contoh proses pengolahan secara kimia yang umum digunakan adalah presipitasi, *gas transfer*, adsorpsi, dan desinfeksi.

c. Pengolahan Secara Biologis

Pengolahan ini menyisahkan polutan dengan memanfaatkan aktivitas biologis. Pengolahan biologis digunakan terutama untuk menyisahkan koloid atau zat organik *biodegradable* yang terlarut dalam air limbah. Pada dasarnya, zat tersebut diubah menjadi (a) gas yang dapat dibuang ke atmosfer dan (b) sel biologis yang dapat disedimentasi atau dengan proses pengolahan fisik lainnya. Pengolahan biologis juga digunakan untuk menyisahkan nitrogen dan fosfor.

2.3.1 Proses Pengolahan Mikroorganisme Tersuspensi

Proses biologis dengan biakan tersuspensi adalah sistem pengolahan dengan menggunakan aktifitas mikroorganisme untuk menguraikan senyawa polutan yang ada dalam air dan mikroorganisme yang digunakan dibiakkan secara tersuspensi di dalam suatu reaktor (Widayat dan Said, 2005). Pada proses pertumbuhan biomassa tersuspensi, mikroorganisme bertanggung jawab atas kelangsungan jalannya proses dalam kondisi suspensi liquid dengan metode pengadukan/pencampuran yang tepat. Biomasa yang ada dinamakan dengan lumpur aktif, karena adanya mikroorganisme aktif yang dikembalikan ke bak/unit aerasi untuk melanjutkan biodegradasi zat organik yang masuk sebagai influen (Tchobanoglous *et al.*, 2003).

Pengurangan volume yang diinginkan dapat tercapai dengan meningkatkan konsentrasi biomasa yang tersuspensi dalam larutan. Semakin banyak bakteri pada suspensi, semakin besar konsumsi makanan, sehingga semakin besar pencampuran zat organik yang ada dalam air limbah. Terdapat bakteri yang masih aktif pada unit pengendap. Jika sebagian bakteri tersebut dikembalikan ke unit aerasi, konsentrasi bakteri pada unit ini akan meningkat pesat (van Sperling dan Chernicharo, 2005).

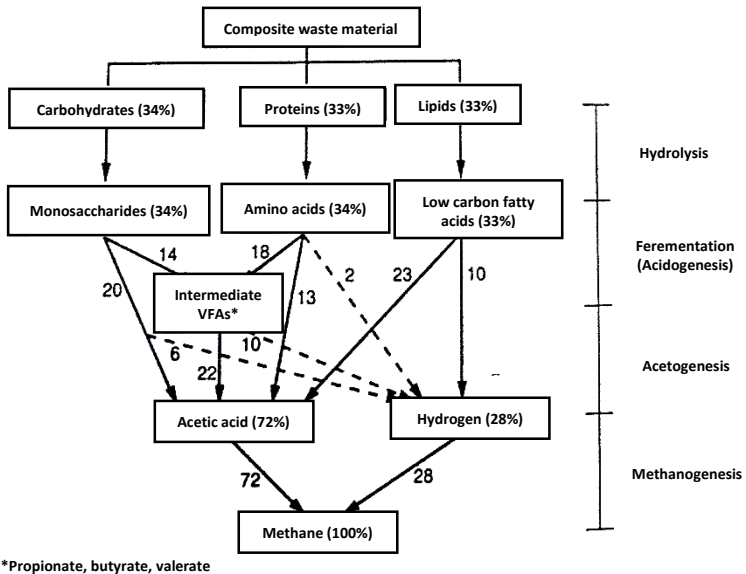
2.3.2 Proses Pengolahan Mikroorganisme Terlekat

Proses biologis dengan biakan melekat merupakan pengolahan dimana mikroorganisme yang digunakan dibiakkan pada suatu media sehingga mikroorganisme tersebut melekat pada permukaan media. Proses ini disebut juga dengan proses film mikrobiologis atau proses biofilm (Said, 2000). Dalam proses pengolahan air limbah dengan proses biakan melekat, prinsip dasarnya adalah mengalirkan air limbah ke dalam suatu biakan mikroorganisme yang melekat di permukaan media. Polutan yang ada di dalam air limbah akan diuraikan oleh mikroorganisme tersebut menjadi senyawa yang tidak mencemari lingkungan. Proses penguraiannya dapat berlangsung secara aerob dan anaerob, atau kombinasi aerob dan anaerob (Wulandari, 2014).

Proses yang terjadi pada reaktor lekat diam adalah air buangan yang akan diolah dialirkan ke dalam reaktor melewati media. Pada reaktor ini dicapai waktu tinggal yang pendek dan beban organik yang tinggi, akibat pertumbuhan biofilm pada permukaan media. Bakteri yang melekat pada media berada pada ruang-ruang diantara media sehingga kecepatan aliran harus dijaga agar tidak terlalu cepat karena akan mengakibatkan bakteri-bakteri tersebut terlepas dari media dan terbawa keluar (Indriyati, 2005).

2.3.3 Proses Pengolahan Secara Anaerobik

Pengolahan limbah secara anaerobik merupakan suatu metabolisme tanpa menggunakan oksigen yang dilakukan oleh bakteri anaerobik. Dalam proses anaerobik yang sangat berperan adalah aktifitas mikroba dalam multi tahap pengolahan limbah (Said dan Firly, 2005). Pengolahan anaerobik memanfaatkan mikroorganisme dalam air limbah untuk menguraikan zat organik dimana dalam pengolahan ini juga menghasilkan produk samping yaitu biogas yang dapat dimanfaatkan sebagai sumber energi (Anggraini dkk, 2014). Dalam pengolahan limbah secara anaerobik mikroorganisme menguraikan beberapa senyawa organik seperti protein, karbohidrat, serta lemak yang terdapat dalam limbah cair dan kemudian akan menghasilkan hasil samping berupa biogas dengan kandungan gas metana sekitar 50% - 70%, gas karbon dioksida 25% - 45% dan sejumlah kecil nitrogen, hidrogen dan hidrogen sulfida (Sato dkk, 2015).



Gambar 2. 1 Prinsip Penyisihan COD dalam Proses Anaerobik
 Sumber: Tchobanoglous *et al.*, 2014

Pengolahan anaerobik menghasilkan biogas, dimana 55% hingga 75% berupa metana (CH₄), 25% hingga 45% berupa karbon dioksida (CO₂), dan sebagian kecil berupa H₂S, H₂, NH₃. Material organik yang dikonversi menjadi metana terdiri dari 34% karbohidrat, 33% protein, dan 33% lemak. Ketiga komponen ini kemudian dihidrolisis menjadi komponen sederhana, dimana 34% karbohidrat menjadi 34% monosakarida, 33% protein menjadi 33% asam amino, dan 33% lemak menjadi 33% *Low Carbon Fatty Acids* (LCFAs). Kemudian 14% monosakarida dan 18% asam amino akan mengalami proses fermentasi menjadi 32% *Intermediate VFAs*. Pada proses asetogenesis, 20% monosakarida dikonversi menjadi asam asetat dan 6% menjadi hidrogen, 13% asam amino dikonversi menjadi asam asetat dan 2% menjadi hidrogen, 23% LCFAs dikonversi menjadi asam asetat dan 10% menjadi hidrogen, sementara 32% *Intermediate VFAs* dikonversi menjadi 22% asam asetat dan 10% hidrogen. Sehingga akan dihasilkan

72% asam asetat dan 28% hidrogen. Kedua komponen ini akan menghasilkan 100% metana dalam proses metanogenesis.

Menurut Tchobanoglous *et al.*, (2014), tiga tahap dasar yang terlibat dalam keseluruhan oksidasi anaerobik air limbah : (1) hidrolisis, (2) asidogenesis (juga dikenal dengan fermentasi atau oksidasi anaerobik), dan (3) methanogenesis.

1. Hidrolisis

Merupakan tahap pertama, dimana material partikulat dikonversi menjadi senyawa terlarut yang kemudian dapat dihidrolisis menjadi monomer sederhana yang digunakan oleh bakteri dalam proses fermentasi. Lemak dipecah menjadi *long chain fatty acids* (LCFAs) oleh lipase yang dihasilkan oleh bakteri yang termasuk *Butyrivibrio* sp., *Clostridium* sp., dan *Anaerovibrio lipolytica*. Peptida dan asam amino dihasilkan dari aktivitas ekstraselular bakteri protease yang termasuk *Clostridium proteolyticum*, *Eubacterium* sp., dan *Peptococcus anaerobicus*.

2. Asidogenesis

Tahap kedua, yang dilakukan oleh bakteri adalah asidogenesis (fermentasi) dan menghasilkan *volatile fatty acids* (VFAs), CO₂, dan hidrogen. Dalam proses fermentasi, substrat bertindak sebagai donor elektron dan elektron akseptor. Hasil fermentasi dari gula dan asam amino adalah asetat, propionat, butirat, CO₂, dan hidrogen. Fermentasi LCFAs menghasilkan asetat, CO₂, dan hidrogen.

3. Asetogenesis

Asetogenesis merupakan fermentasi lanjutan oleh bakteria untuk mengkonversi produk setengah jadi dari asidogenesis (propionat dan butirat) agar menghasilkan asetat, CO₂, dan hidrogen. Sehingga produk akhir dari fermentasi adalah asetat, CO₂, dan hidrogen yang menjadi awal terbentuknya metana.

4. Metanogenesis

Dilakukan oleh kelompok organisme *Archaea* yang diketahui sebagai metanogen. Dua kelompok organisme

metanogen terlibat dalam produksi metana. Kelompok pertama, disebut sebagai *acetoclastic methanogens*, memecah asetat menjadi karbon dan karbon dioksida. Kelompok kedua, disebut sebagai metanogen yang menggunakan hidrogen atau *hydrogenotrophic methanogenic*, menggunakan hidrogen sebagai donor elektron dan CO₂ sebagai elektrop akseptor untuk menghasilkan metana. Seperti dilihat pada Gambar 2.1, sekitar 72 persen metana dihasilkan dalam pengolahan anaerobik dari bentuk asetat.

Pengolahan anaerobik memecah molekul yang tersusun dari oksigen dan karbon dalam proses fermentasi menjadi karbohidrat. Mikroorganisme aerobik menggunakan beban polutan dalam jumlah besar (sekitar 50% COD) untuk produksi massa bakteri, dibandingkan dengan mikroorganisme anaerobik (hanya sekitar 5% COD). Inilah kenapa proses anaerobik menghasilkan 90% lumpur lebih sedikit dibandingkan proses aerobik (Sasse, 2009).

Lumpur mengendap dalam beberapa lapisan. Lapisan atas mengandung mikroorganisme aktif, yang menunjang pengolahan dengan memakan polutan pada air limbah, sementara lapisan di bawahnya terstabilisasi dan menjadi tidak aktif selama berjalannya waktu. Pengurusan lumpur hanya dilakukan untuk lumpur yang berada di dasar bak, 30 hingga 50 cm lumpur aktif harus disisakan untuk memastikan efisiensi pengolahan tetap terjaga (Sasse, 2009).

2.3.4 Proses Pengolahan Secara Aerobik

Pada proses pengolahan air limbah secara aerobik, senyawa kompleks organik akan terurai oleh aktifitas mikroorganisme aerob (Herlambang, 2001). Pada kondisi aerob mikroorganisme mengambil oksigen dari udara dan makanan dari bahan organik. Bahan organik tersebut dikonversi menjadi produk metabolisme biologi berupa CO₂, H₂O, dan energi (Fitria, 2008).

Menurut Tchobanoglous *et al.*, (2014), terjadi tiga tahap pengolahan yang terjadi pada proses aerobik. Pertama, sebagian air limbah dioksidasi hingga menghasilkan energi untuk kehidupan sel mikroorganisme dan sintesis jaringan sel baru. Bersama

dengan itu, sebagian air limbah dikonversi menjadi jaringan sel baru menggunakan sebagian energi yang dilepaskan selama oksidasi. Pada akhirnya, saat zat organik telah digunakan, sel baru mulai untuk mengkonsumsi jaringan sel mereka sendiri untuk memperoleh energi demi kehidupan sel. Proses ketiga ini disebut *endogenous respiration*. Menggunakan bentuk COHNS (yang merepresentasikan elemen karbon, oksigen, nitrogen, dan sulfur) untuk merepresentasikan limbah organik dan bentuk $C_5H_7NO_2$ untuk merepresentasikan jaringan sel, ketiga proses dibagi menjadi reaksi kimia berikut:

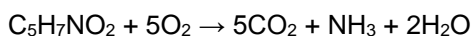
Energy reaction (oksidasi)



Synthesis reaction



Endogenous respiration



CHONS berperan sebagai donor elektron, sementara oksigen berperan sebagai elektron akseptor. Jika semua sel (contohnya donor elektron) dioksidasi secara keseluruhan, UBOD atau COD sel setara dengan 1,42 kali konsentrasi sel sebagai VSS.

Dalam pengolahan biologis harus tersedia nutrisi dalam jumlah yang cukup. Menggunakan rumus $C_5H_7NO_2$ untuk komposisi sel biomas, sekitar 12,4 persen berat nitrogen dibutuhkan. Kebutuhan fosfor adalah 1,5 hingga 2 persen berat sel biomas. Ini adalah nilai tipikal, bukan kuantitas tetap, karena presentase distribusi nitrogen dan fosfor dalam jaringan sel bervariasi sesuai dengan SRT sistem dan kondisi lingkungan.

2.4 Biofilter Anaerob-Aerob

Pengolahan air limbah dengan proses biofilter anaerob-aerob adalah proses pengolahan air limbah dengan cara menggabungkan proses biofilter anaerob dan aerob. Dengan menggunakan proses biofilter anaerob, polutan organik dalam air limbah akan terurai menjadi gas karbon dioksida dan metana tanpa

menggunakan energi (blower udara), tetapi amoniak dan gas hidrogen sulfida tidak hilang. Dengan proses biofilter aerob, polutan organik yang masih tersisa akan terurai menjadi gas karon diokasida dan air, amoniak akan teroksidasi menjadi nitrit, selanjutnya akan menjadi nitrat, sedangkan hidrogen sulfida akan diubah menjadi sulfat. Dengan menggunakan proses biofilter anaerob-aerob maka akan dapat dihasilkan air olahan dengan kualitas yang baik menggunakan konsumsi energi yang lebih rendah.

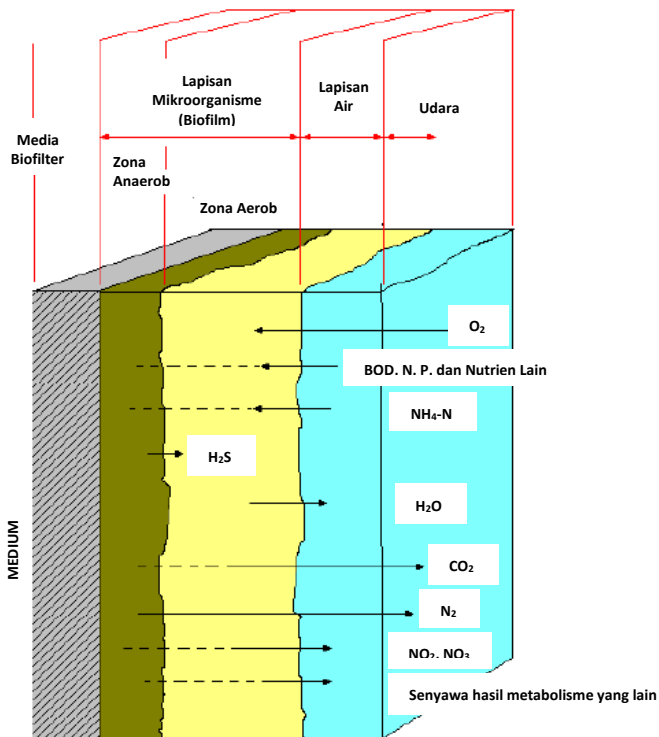
Dalam beberapa kasus dimana penyisihan nutrien dibutuhkan untuk mencapai baku mutu air limbah, penggunaan proses anaerobik sebelum pengolahan aerobik untuk penyisihan nutrien secara biologis harus dianalisis secara cermat, ada kalanya sistem anaerobik menunjukkan penyisihan zat organik biodegradable yang baik, tetapi tidak ada efisiensi penyisihan N dan P. Hal ini pasti menyebabkan dampak negatif pada sistem pengolahan biologis yang mengharapkan penyisihan nutrien yang baik, karena efluen dari reaktor anaerobik akan memiliki rasio N/COD dan P/COD jauh lebih tinggi daripada hasil yang diinginkan untuk efisiensi yang baik pada proses penyisihan nutrien secara biologis (Chernicharo, 2006).

2.4.1 Proses Biofilter

Proses pengolahan air limbah dengan proses biofilter tercelup dilakukan dengan mengalirkan air limbah ke dalam reaktor biologis yang di dalamnya diisi dengan media penyangga untuk mengembangbiakkan mikroorganisme dengan atau tanpa aerasi. Mekanisme proses metabolisme di dalam sistem biofilm secara aerobik dijelaskan pada Gambar 2.2 yang menunjukkan sistem biofilm yang terdiri dari media penyangga, lapisan biofilm yang melekat pada medium, lapisan air limbah dan udara. Senyawa polutan yang ada dalam air limbah, seperti senyawa organik (BOD, COD), ammonia, fosfor, dan lainnya, akan terdifusi ke dalam lapisan atau film biologis yang melekat pada permukaan medium. Pada saat yang bersamaan, dengan bantuan oksigen terlarut, senyawa polutan tersebut akan diuraikan oleh mikroorganisme yang ada pada lapisan biofilm dan energi yang dihasilkan akan diubah menjadi biomasa. Suplai oksigen pada lapisan biofilm pada

sistem biofilter tercelup dapat dilakukan dengan menggunakan blower udara atau pompa sirkulasi.

Jika lapisan mikrobiologis cukup tebal, maka pada bagian luar lapisan mikrobiologis akan berada dalam kondisi aerobik, sedangkan pada bagian dalam biofilm yang melekat pada medium akan berada dalam kondisi anaerobik. Pada kondisi anaerobik akan terbentuk gas H_2S , dan jika konsentrasi oksigen terlarut cukup besar, maka gas H_2S yang terbentuk akan diubah menjadi sulfat (SO_4) oleh bakteri sulfat yang ada pada biofilm.

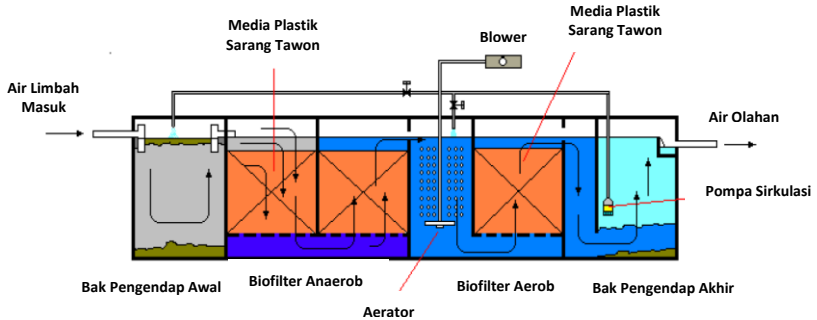


Gambar 2. 2 Mekanisme Proses Metabolisme dalam Sistem Biofilm

Sumber: Kemenkes RI, 2011

2.4.2 Pengolahan Air Limbah pada Biofilter Anaerob-Aerob

Diagram proses pengolahan air limbah dengan biofilter anaerob-aerob dapat dilihat pada Gambar 2.3.



Gambar 2. 3 Proses Pengolahan Air Limbah dengan Biofilter Anaerob-Aerob

Sumber: Kemenkes RI, 2011

Air limbah dialirkan ke bak ekualisasi, selanjutnya dipompa ke bak pengendap awal untuk mengendapkan partikel lumpur, pasir dan bahan organik tersuspensi. Bak pengendap awal juga berfungsi sebagai bak pengontrol aliran, bak pengurai senyawa organik yang berbentuk padatan, serta penampung dan pengurai lumpur.

Air limpasan dari bak pengendap awal, selanjutnya dialirkan ke biofilter anaerob. Didalam biofilter tersebut diisi dengan media dari bahan plastik tipe sarang tawon. Biofilter anaerob terdiri dari dua ruangan. Penguraian zat-zat organik dilakukan oleh bakteri anaerobik atau fakultatif aerobik. Setelah beberapa hari beroperasi, pada permukaan media filter akan tumbuh lapisan *biofilm*. Mikroorganismenya inilah yang akan menguraikan zat organik yang belum sempat terurai pada bak pengendap awal.

Air limpasan biofilter anaerob dialirkan ke biofilter aerob. Dalam biofilter aerob ini diisi dengan media dari bahan plastik tipe sarang tawon, sambil diberikan aerasi sehingga mikroorganismenya yang ada akan menguraikan zat organik yang ada dalam air limbah serta tumbuh dan menempel pada permukaan media. Air limbah akan mengalami kontak dengan mikroorganismenya yang tersuspensi dalam air maupun yang menempel pada permukaan media, hal

tersebut dapat meningkatkan efisiensi penguraian zat organik, deterjen, dan mempercepat proses nitrifikasi sehingga efisiensi penghilangan ammonia menjadi lebih besar. Proses ini dinamakan aerasi kontak (*contact aeration*).

Selanjutnya, air dialirkan ke bak pengendap akhir. Dalam bak pengendap akhir sebagian air limbah dipompa kembali ke bagian inlet biofilter aerob dengan pompa resirkulasi lumpur. Sedangkan air limpasan dialirkan ke bak kontrol dan selanjutnya dialirkan ke bak kontraktor klor untuk proses desinfeksi. Proses desinfeksi bertujuan membunuh mikroorganisme patogen. Air olahan/ dapat langsung dibuang ke sungai atau saluran umum. Kombinasi proses anaerob dan aerob dapat menurunkan zat organik (BOD dan COD), ammonia, deterjen, padatan tersuspensi (SS), fosfat, dan lainnya.

2.4.3 Kelebihan Proses Biofilter Anaerob-Aerob

Proses pengolahan air limbah dengan proses biofilter anaerob-aerob mempunyai beberapa keunggulan, antara lain yaitu:

1. Adanya air buangan yang mengalir melalui media yang terdapat pada biofilter mengakibatkan timbulnya lapisan lendir yang menyelimuti media atau yang disebut dengan *biological film*. Air limbah yang masih mengandung zat organik yang belum teruraikan pada bak pengendap, bila melalui lapisan lendir ini akan mengalami proses penguraian secara biologis. Efisiensi biofilter tergantung dari luas kontak antara air limbah dengan mikroorganisme yang menempel pada permukaan media filter tersebut. Makin luas bidang kontakannya, maka efisiensi penurunan konsentrasi zat organik makin besar. Selain menghilangkan BOD dan COD, proses ini juga dapat mengurangi konsentrasi padatan tersuspensi atau *suspended solid* (SS), deterjen (MBAS), ammonium, dan fosfor.
2. Biofilter juga berfungsi sebagai media penyaring air limbah yang melalui media. Sebagai akibatnya, air limbah mengandung *suspended solid* dan bakteri *E. coli* setelah melalui filter ini akan berkurang konsentrasinya. Efisiensi

penyaringan akan sangat besar karena dengan adanya *biofilter up flow*, yakni penyaringan dengan sistem aliran dari bawah ke atas akan mengurangi kecepatan partikel yang terdapat pada air buangan dan partikel yang tidak terbawa aliran ke atas akan mengendap di dasar bak filter. Sistem biofilter anaerob-aerob ini sangat sederhana, operasinya mudah dan tidak memakai bahan kimia, serta tanpa membutuhkan banyak energi. Proses ini cocok digunakan untuk mengolah air limbah dengan kapasitas yang tidak terlalu besar.

3. Dengan kombinasi proses anaerob-aerob, efisiensi penghilangan senyawa fosfor menjadi lebih besar bila dibandingkan dengan proses anaerob atau proses aerob saja. Selama berada pada kondisi anaerob, senyawa fosfor anorganik yang ada dalam sel-sel mikroorganisme akan keluar sebagai akibat hidrolisis senyawa fosfor. Sedangkan energi yang dihasilkan digunakan untuk menyerap senyawa organik yang ada dalam air limbah. Selama berada pada kondisi aerob, senyawa fosfor terlarut akan diserap oleh mikroorganisme dan akan disintesis menjadi *polyphosphat* menggunakan energi yang dihasilkan oleh proses oksidasi senyawa organik. Dengan demikian, kombinasi proses anaerob-aerob dapat menghilangkan senyawa organik maupun fosfor dengan baik. Proses ini dapat digunakan untuk pengolahan air limbah dengan beban organik yang cukup besar.

2.4.4 Media Filter

Media biofilter yang digunakan secara umum dapat berupa bahan material organik atau anorganik. Biasanya untuk media biofilter dari bahan anorganik, semakin kecil diameternya luas permukaan semakin besar, sehingga jumlah mikroorganisme yang dapat dibiakkan juga menjadi besar pula, tetapi volume rongga menjadi lebih kecil. Jika terjadi penyumbatan maka dapat terjadi aliran singkat (*short pass*) dan juga terjadi penurunan jumlah aliran sehingga kapasitas pengolahan dapat menurun drastis (Said dan Ruliasih, 2005).

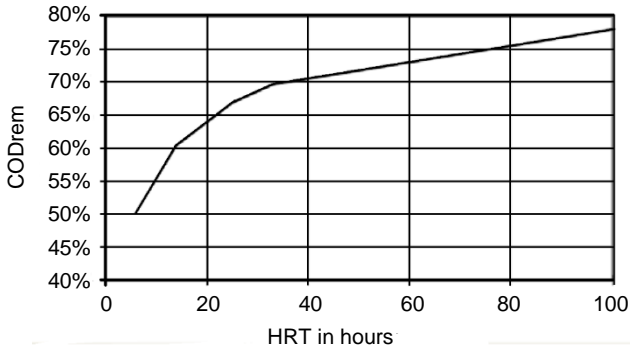
Media biofilter dari bahan organik banyak yang dibuat dengan cara dicetak dari bahan tahan karat dan ringan misalnya PVC dan laninnya, dengan luas permukaan spesifik yang besar dan volume rongga (porositas) yang besar, sehingga dapat meletakkan mikroorganisme dalam jumlah yang besar dengan resiko kebuntuan yang sangat kecil. Dengan demikian memungkinkan untuk pengolahan air limbah dengan beban konsentrasi yang tinggi serta efisiensi pengolahan yang cukup besar (Kemenkes RI, 2011).

Di dalam prakteknya ada beberapa kriteria media biofilter ideal yang perlu diperhatikan, antara lain yaitu:

- Mempunyai luas permukaan spesifik besar
- Mempunyai fraksi volume rongga tinggi
- Diameter celah bebas besar (*large free passage diameter*)
- Tahan terhadap penyumbatan
- Dibuat dari bahan inert
- Harga per unit luas permukaan murah
- Mempunyai kekuatan mekanik yang baik
- Ringan
- Fleksible
- Pemeliharaan mudah
- Kebutuhan energi kecil
- Mereduksi cahaya (menghalangi cahaya masuk ke media)
- Memiliki sifa *hidrophilic* (suka terhadap air, tidak berminyak, tidak licin)

2.4.5 Faktor-faktor yang Mempengaruhi Efisiensi Biofilter

Menurut Sasse (2009), perhitungan pengolahan didasarkan pada kurva hubungan antara HRT dan prosentase penyisihan COD. Kurva pada Gambar 2.4. berdasarkan COD 1.500 mg/l pada 25°C. Nilai tersebut kemudian dihitung dengan faktor berdasarkan suhu pada Gambar 2.5, konsentrasi air limbah pada Gambar 2.6 dan permukaan spesifik media pada Gambar 2.7.



Gambar 2. 4 Hubungan HRT dan Penyisihan COD
Sumber: Sasse, 2009

Kurva pada Gambar 2.4 dapat dimodelkan dengan beberapa persamaan.

- HRT < 12 jam

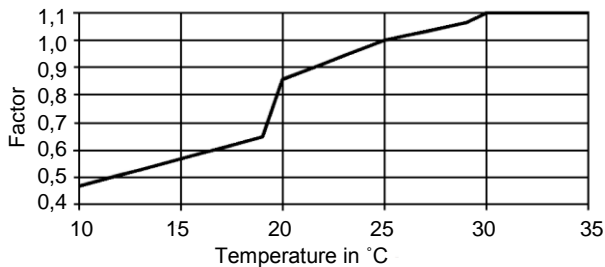
$$\text{CODrem} = \text{HRT} \times 0,16 / 12 + 0,44$$
- HRT < 24 jam

$$\text{CODrem} = (\text{HRT}-12) \times 0,07 / 12 + 0,6$$
- HRT < 33 jam

$$\text{CODrem} = (\text{HRT}-24) \times 0,03 / 9 + 0,67$$
- HRT < 100 jam

$$\text{CODrem} = (\text{HRT}-33) \times 0,09 / 67 + 0,7$$
- HRT \geq 100 jam

$$\text{CODrem} = 0,78$$

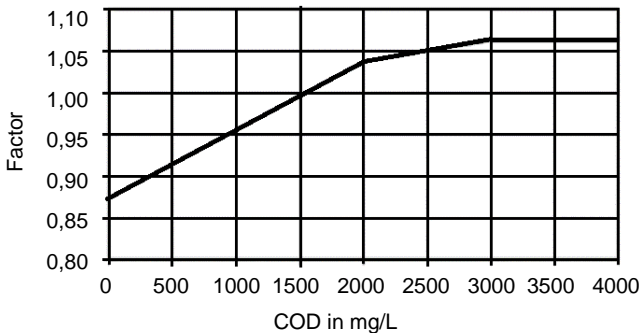


Gambar 2. 5 Hubungan Suhu dan Penyisihan COD
Sumber: Sasse, 2009

Kurva pada Gambar 2.5 dapat dimodelkan dengan beberapa persamaan.

- Temp < 20°C
Factor = $(\text{temp} - 10) \times 0,39 / 20 + 0,47$
- Temp < 25°C
Factor = $(\text{temp} - 20) \times 0,14 / 5 + 0,86$
- Temp < 30°C
Factor = $(\text{temp} - 25) \times 0,08 / 5 + 1$
- Temp $\geq 30^\circ\text{C}$
Factor = 1,10

Ukuran rongga pada media filter mempengaruhi volume pengolahan yang dibutuhkan untuk memenuhi *hydraulic retention time* (HRT) yang cukup. Media kerikil rata-rata memiliki ukuran rongga 35%, sementara plastik yang dibentuk khusus dapat mencapai lebih dari 90%.

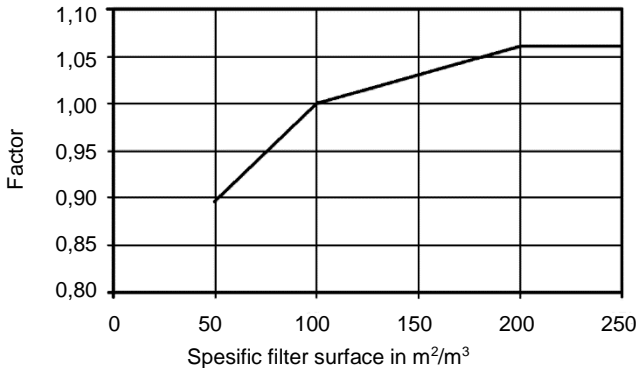


Gambar 2. 6 Hubungan Konsentrasi COD Masuk dengan Penyisihan COD
Sumber: Sasse, 2009

Kurva pada Gambar 2.6 dapat dimodelkan dengan beberapa persamaan.

- COD in < 2.000 mg/L
Factor = $\text{COD in} \times 0,17 / 2.000 + 0,87$

- COD in < 3.000 mg/L
Factor = $(\text{COD in} - 2.000) \times 0,02 / 1.000 + 1,04$
- COD in ≥ 3.000 mg/L
Factor = 1,06

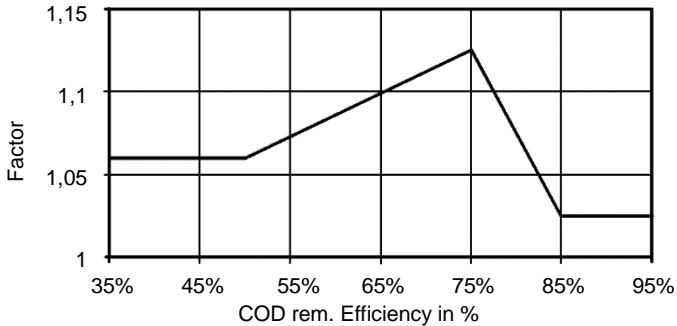


Gambar 2. 7 Hubungan Luas Permukaan Spesifik Media dengan Penyisihan COD
Sumber: Sasse, 2009

Kurva pada Gambar 2.7 dapat dimodelkan dengan beberapa persamaan.

- Surface < 100 m²/m³
Factor = $(\text{Surface} - 50) \times 0,1 / 50 + 0,9$
- Surface < 200 m²/m³
Factor = $(\text{Surface} - 100) \times 0,06 / 100 + 1$
- Surface ≥ 200 m²/m³
Factor = 1,06

Setelah mendapatkan efisiensi penyisihan COD berdasarkan faktor-faktor tersebut, efisiensi penyisihan BOD dapat ditentukan melalui kurva pada Gambar 2.8.



Gambar 2. 8 Rasio Efisiensi Penyisihan BOD terhadap Penyisihan COD
Sumber: Sasse, 2009

Kurva pada Gambar 2.8 dapat dimodelkan dengan beberapa persamaan.

- COD rem < 0,5
Factor = 1,06
- COD rem < 0,75
Factor = (COD rem – 0,5) × 0,065 / 0,25 + 1,06
- COD rem < 0,85
Factor = 1,125 – (COD rem – 0,75) × 0,1 / 0,1
- COD rem ≥ 0,85
Factor = 1,025

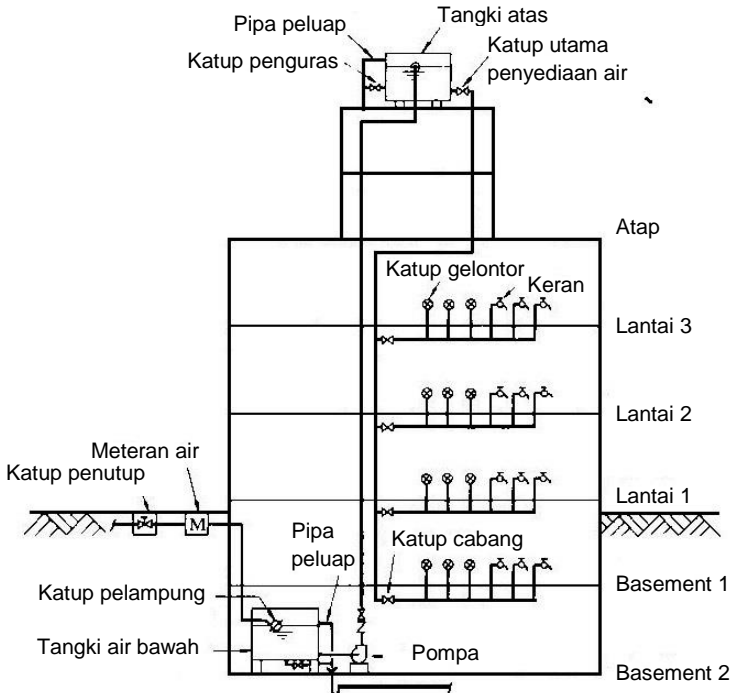
2.5 Sistem Plambing

Sistem penyaluran efluen IPAL yang digunakan adalah sistem tangki atap. Dalam sistem ini efluen IPAL ditampung dalam tangki bawah (dipasang pada lantai terendah bangunan atau di bawah muka tanah) kemudian dipompakan ke tangki atas (dipasang di atas atap atau di atas lantai tertinggi bangunan). Penerapan sistem tangki atap ini didasarkan pada beberapa alasan berikut:

1. Selama air digunakan, perubahan tekanan yang terjadi pada alat plambing hampir tidak terjadi, perubahan tekanan hanya terjadi akibat perubahan muka air dalam tangki atap.
2. Sistem pompa yang menaikkan air ke tangki atap bekerja secara otomatis dengan cara yang sangat sederhana.

Pompa biasanya dijalankan dan dimatikan oleh alat yang mendeteksi muka air dalam tangki atas.

3. Perawatan tangki atas sangat sederhana dibandingkan dengan tangki tekan.



Gambar 2. 9 Sistem Tangki Atas
Sumber: Noerlambang dan Morimura, 2000

Pada setiap tangki bawah dan tangki atas harus dipasang alarm yang memberikan tanda suara untuk muka air rendah dan air penuh. Apabila tekanan air dalam pipa utama cukup besar, air dapat langsung dialirkan ke tangki atas tanpa disimpan dalam tangki bawah dan dipompa. Hal terpenting dalam sistem tangki atas ini adalah menentukan letak tangki atas, penentuan ini harus didasarkan atas jenis alat plambing yang dipasang pada lantai tertinggi bangunan dan yang menuntut tekanan kerja tertinggi.

2.5.1 Perancangan Sistem Pipa

Pada dasarnya ada dua sistem pipa penyediaan air dalam gedung, yaitu sistem pengaliran ke atas dan sistem pengaliran ke bawah. Dalam sistem pengaliran ke atas, pipa utama dipasang dari tangki atas ke bawah sampai langit-langit lantai terbawah dari gedung, kemudian mendatar dan bercabang-cabang tegak ke atas untuk melayani lantai-lantai di atasnya. Dalam sistem pengaliran ke bawah, pipa utama dari tangki atas dipasang mendatar dalam langit-langit lantai teratas dari gedung, dan dari pipa mendatar ini dibuat cabang-cabang tegak ke bawah untuk melayani lantai-lantai di bawahnya. Beberapa hal yang perlu diperhatikan dalam perancangan sistem pipa:

- 1) Sistem manapun yang dipilih, pipa harus dirancang dan dipasang sedemikian rupa sehingga udara maupun air kalau perlu dapat dibuang/dikeluarkan dengan mudah.
- 2) Pipa mendatar pada sistem pengaliran ke atas sebaiknya dibuat agak miring ke atas (searah aliran), sedang pada sistem pengaliran ke bawah dibuat agak miring ke bawah. Kemiringannya sekitar 1/300.
- 3) Perpipa yang tidak merata, melengkung ke atas atau melengkung ke bawah, harus dihindarkan. Kalau akibat sesuatu hal tidak dapat dihindarkan (misalnya ada perombakan gedung) hendaknya dipasang katup pelepas udara.
- 4) Harus dihindarkan membalikkan arah aliran. Misalnya pipa cabang tegak akan melayani daerah di atasnya pipa utama mendatar, tetapi penyambungannya diarahkan ke bawah lebih dahulu.

2.5.2 Penentuan Dimensi Pipa

Penentuan dimensi pipa dilakukan berdasarkan jenis dan jumlah alat plambing yang direncanakan. Dalam metode ini hal yang perlu diperhatikan adalah adanya faktor pemakaian serentak dari alat-alat plambing yang digunakan secara bersamaan (debit air besar) dan saat alat-alat plambing digunakan dalam waktu yang berbeda (debit minimum, suplai air terpenuhi). Sedangkan pemakaian air tiap alat plambing, laju aliran air dan ukuran pipa cabang pipa air dapat dilihat pada Tabel 2.2.

Tabel 2. 2 Pemakaian Air Tiap Alat Plumbing, Laju Aliran Airnya, dan Ukuran Pipa Cabang Pipa Air

No	Nama alat plumbing	Pemakaian air untuk penggunaan satu kali (liter)	Penggunaan per jam	Laju aliran air (liter / menit)	Waktu untuk pengisian (detik)	Pipa sambungan alat plumbing (mm)	Pipa cabang air bersih ke alat plumbing (mm)	
							Pipa baja	Tembaga ¹⁾
1	Kloset (dengan katup gelontor)	13,5 – 16,5 ¹⁾	6 – 12	110 – 180	8,2 – 10	24	32 ¹⁾	25
2	Kloset (dengan tangki gelontor)	13 – 15	6 – 12	15	60	13	20	13
3	Peturasan (dengan katup gelontor)	5	12 – 20	30	10	13	20 ³⁾	13
4	Peturasan, 2-4 orang (dengan tangki gelontor)	9 – 18 (@ 4,5)	12	1,8 – 3,6	300	13	20	13
5	Peturasan, 5-7 orang (dengan tangki gelontor)	22,5 – 31,5 (@ 4,5)	12	4,5 – 6,3	300	13	20	13
6	Bak cuci tangan kecil	3	12 – 20	10	18	13	20	13
7	Bak cuci tangan biasa (<i>lavatory</i>)	10	6 – 12	15	40	13	20	13
8	Bak cuci dapur (<i>sink</i>) dengan keran 13 mm	15	6 – 12	15	60	13	20	13
9	Bak cuci dapur (<i>sink</i>) dengan keran 22 mm	25	6 – 12	25	60	20	20	20
10	Bak mandi rendam (<i>bath tub</i>)	125	3	30	250	20	20	20
11	Pancuran mandi (<i>shower</i>)	24 – 60	3	12	120 – 300	13 – 20	20	13 – 20
12	Bak mandi gaya Jepang	Tergantung ukurannya		30		20	20	20

Sumber: Noerlambang dan Morimura, 2000

Catatan:

- 1) Standar pemakaian air untuk kloset dengan katup gelontor untuk satu kali penggunaan adalah 15 liter selama 10 detik
- 2) Pipa sambungan ke katup gelontor untuk kloset biasanya adalah 25 mm, tetapi untuk mengurangi kerugian gesekan dianjurkan memasang pipa ukuran 32 mm
- 3) Pipa sambungan ke katup gelontor untuk peturasan biasanya adalah 13 mm, tetapi untuk mengurangi kerugian akibat gesekan dianjurkan memasang pipa ukuran 20 mm
- 4) Karena pipa tembaga kurang cenderung berkerak dibandingkan dengan pipa baja, maka ukurannya bisa lebih kecil. Pipa PVC bisa juga dipasang dengan ukuran yang sama dengan pipa tembaga.

Setiap alat plumbing pada dasarnya memiliki unit beban yang berbeda. Unit beban adalah beban atas kebutuhan air setiap unit alat plumbing. Di dalam metode ini, pada setiap alat plumbing ditetapkan suatu unit beban (*fixture unit*). Pada setiap bagian pipa dijumlahkan besarnya unit beban dari semua alat plumbing yang

dilayaninya. Selanjutnya dapat dicari besarnya laju aliran dengan menggunakan Tabel 2.3.

Tabel 2. 3 Unit Alat Plumbing Untuk Penyediaan Air Dingin

Jenis alat plumbing ²⁾	Jenis penyediaan air	Unit alat plumbing ³⁾		Keterangan
		Untuk Pribadi ⁴⁾	Untuk umum ⁵⁾	
Kloset	Katup gelontor	6	10	
Kloset	Tangki gelontor	3	5	
Peturasan, dengan tiang	Katup gelontor	-	10	
Peturasan terbuka (urinal stall)	Katup gelontor	-	5	
Peturasan terbuka (urinal stall)	Tangki gelontor	-	3	
Bak cuci (kecil)	Keran	0,5	1	
Bak cuci tangan	Keran	1	2	
Bak cuci tangan, untuk kamar operasi	Keran	-	3	
Bak mandi rendam (<i>bathtub</i>)	Keran pencampur air dingin dan panas	2	4	
Pancuran mandi (<i>shower</i>)	Keran pencampur air dingin dan panas	2	4	
Pancuran mandi tunggal	Keran pencampur air dingin dan panas	2	-	
Satuan kamar mandi dengan bak mandi rendam	Kloset dengan katup gelontor	8	-	
Satuan kamar mandi dengan bak mandi rendam	Kloset dengan tangki gelontor	6	-	
Bak cuci bersama	Kloset dengan tangki gelontor (untuk tiap keran)	-	2	Gedung kantor, dsb.
Bak cuci pel	Keran	3	4	Untuk umum: hotel, atau restoran, dsb.
Bak cuci dapur	Keran	2	4	
Bak cuci piring	Keran	-	5	
Bak cuci pakaian (satu sampai tiga)	Keran	3	-	
Pancuran minum	Keran air minum	-	2	
Pemanas air	Katub bola	-	2	

Sumber: Noerlambang dan Morimura, 2000

Catatan:

¹⁾ Alat plumbing yang airnya mengalir secara kontinyu harus dihitung secara terpisah, dan ditambahkan pada jumlah unit alat plumbing

- 2) Alat plambing yang tidak ada di daftar dapat diperkirakan, dengan membandingkan dengan alat plambing yang mirip/terdekat
- 3) Nilai unit alat plambing dalam tabel ini adalah keseluruhan. Kalau digunakan air dingin dan air panas, unit alat plambing maksimum masing-masing untuk air panas diambil tigaperempatnya.
- 4) Alat plambing untuk keperluan pribadi dimaksudkan pada rumah pribadi atau apartemen, dimana pemakaiannya tidak terlalu sering
- 5) Alat plambing untuk keperluan umum dimaksudkan yang dipasang dalam gedung kantor, sekolah, pabrik, dsb., dimana pemakaiannya cukup sering

2.6 Studi Terdahulu

Berikut adalah beberapa studi yang telah dilakukan menggunakan biofilter anaerob-aerob dalam pengolahan air limbah.

1. Said (2000), melakukan percobaan menggunakan reaktor *bench scale* dengan proses biofilter anaerob-aerob dengan ukuran lebar 20 cm, panjang 62 cm, tinggi 40 cm, volume efektif 50 liter, dengan media kerikil ukuran 5 – 10 mm. Air limbah yang digunakan merupakan campuran limbah industri dan limbah rumah tangga. Hasil analisa setelah berjalan 6 minggu, dengan waktu tinggal 1 hari, efisiensi penurunan COD mencapai 89,5%, BOD 92%, NH₄-N 53%, MBAS 53,2%, dan SS 98,5%.
2. Herlambang (2001), memakai biofilter struktur sarang tawon kombinasi anaerob-aerob pada pengolah limbah organik, khususnya industri tahu dan tempe. Efisiensi penurunan kandungan BOD₅ untuk pengolahan dengan waktu tinggal 1 hari berkisar 53,33 – 65,26%, sedangkan penurunan COD berkisar 61,15 – 64,77%. Diidentifikasi bahwa penyebab penurunan parameter pencemar disebabkan oleh hadirnya bakteri pemakan karbohidrat dalam bentuk glukosa, laktosa, dan sukrosa, serta bakteri pemakan protein.
3. Mubin dkk (2016), merencanakan sistem pengolahan air limbah domestik dengan sistem terpusat menggunakan sistem biofilter anaerob-aerob. Direncanakan IPAL dengan debit air limbah 231.240 liter/hari dan media dari bahan plastik tipe sarang tawon. Dimensi IPAL setelah dihitung adalah 25 m × 4,5 m.
4. Ratnawati dkk (2014), membuat desain IPAL dengan biofilter anaerob-aerob untuk air limbah domestik yang

- bersifat infeksius. Kapasitas pengolahan sebesar 20 m³/hari. Media filter menggunakan batu apung dan kerikil/pecahan batu kali dengan diameter 2 – 3 cm. Pembangunan IPAL membutuhkan lahan seluas 12 m² dengan panjang total IPAL 10 m dan lebar 1,2 m.
5. Said (2006), membuat perencanaan pengolahan air limbah rumah sakit menggunakan biofilter anaerob-aerob dengan media sarang tawon berbahan PVC sheet yang memiliki luas kontak 200 – 226 m²/m³ dan porositas rongga 0,98. IPAL dengan kapasitas pengolahan 10 – 15 m³/hari memiliki efisiensi penurunan COD 87 – 98,6%, BOD₅ 93,4 – 99,3%, dan TSS 80 – 97,8%.
 6. Hatijah dkk (2010), melakukan studi efektifitas biofilter anaerob dan aerob dalam menurunkan kadar BOD₅, COD, dan nitrogen total limbah cair industri karet dengan media filter pecahan batubata. Pada waktu kontak 1 minggu BOD₅ mengalami penurunan rata-rata 90,58% pada proses anaerobik dan 92,43% pada proses aerobik. COD mengalami penurunan 83,81% pada proses anaerobik dan 87,79% pada proses aerobik. Total kadar N yang turun sekitar 37% pada pengolahan aerob.
 7. Wulandari (2014), melakukan perencanaan pengolahan air limbah domestik buangan dapur (*grey water*) menggunakan biofilter anaerob-aerob. Volume air limbah yang diolah adalah 2.877,32 m³/hari. Media yang digunakan adalah tipe sarang tawon PVC sheet dengan luas kontak spesifik 150 m²/m³ dan poros rongga 0,98. Jumlah lahan yang dibutuhkan untuk membangun IPAL tersebut kurang lebih 70 m × 20 m.
 8. Elmitwali *et al.*, (2002), meneliti penggunaan *anaerobic filter* untuk *pre-treatment* air limbah domestik. Media filter yang digunakan adalah *Reticulated Polyurethane Foam* (RPF) yang memiliki luas permukaan spesifik 500 m²/m³ dengan ukuran pori 2,5 mm. Proses pengolahan berlangsung pada suhu 13°C dan *Hydraulic Retention Time* (HRT) 4 jam. Semua biomass pada *Anaerobic Filter* hanya dalam bentuk terlekat untuk menghindari penyumbatan dan lumpur. Penyisihan total COD dan COD tersuspensi oleh *Anaerobic Filter* sebesar 55% dan 82%.

9. Merino-Solis *et al.*, (2015), meneliti kinerja sistem pengolahan air limbah domestik menggunakan *Up-flow Anaerobic Filter* (UAF) diikuti dengan *Horizontal Subsurface Constructed Wetland* (HSSCW). Media filter yang digunakan memiliki luas media spesifik $390 \text{ m}^2/\text{m}^3$ dengan ukuran pori 20-25 mm. Penyisihan zat organik dapat mencapai 80% dalam 18 jam pada UAF dan 30% pada HSSCW.
10. Tonon, Daniele (2015), mempelajari pengolahan air limbah dengan menggabungkan *anaerobic filter* dan filter pasir. *Anaerobic filter* diisi dengan batok kelapa dari spesies *Cocos nucifera*, sementara filter pasir terdiri dari 0,75 meter pasir. Hasilnya, penyisihan minimum mencapai 95% COD dan BOD. Pada *hydraulic loading rate* $700\text{L}/\text{m}^2.\text{hari}$, konsentrasi N-NH_4^+ melebihi nitrat, menunjukkan penurunan efisiensi nitrifikasi.

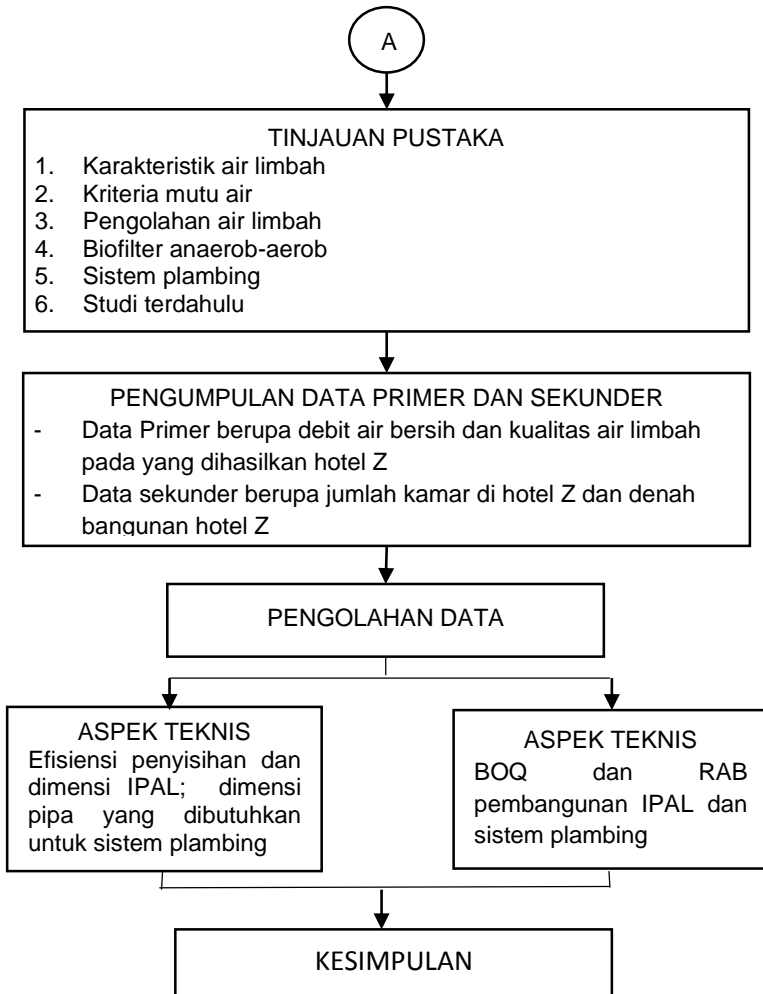
Halaman ini sengaja dikosongkan

BAB III METODOLOGI PERANCANGAN

3.1 Kerangka Perencanaan

Kerangka perencanaan memberikan gambaran awal mengenai alur perencanaan yang akan dilakukan. Kerangka perencanaan ini berisi tahapan-tahapan yang dilakukan dalam perencanaan dari awal hingga didapatkan hasil perencanaan. Tahapan yang jelas dan sistematis akan mempermudah pelaksanaan perencanaan. Kerangka perencanaan dapat dilihat pada Gambar 3.1.





Gambar 3. 1 Kerangka Perencanaan

3.2 Tahapan Perencanaan

Tahapan perencanaan menjelaskan secara rinci tahapan-tahapan perencanaan yang akan dilakukan. Penjelasan setiap tahapan kegiatan perencanaan adalah sebagai berikut.

1. Ide Perencanaan

Ide perencanaan merupakan keluaran dari hasil analisis adanya gap antara kondisi eksisting dan kondisi ideal. Kondisi eksisting IPAL salah satu hotel budget di Kota Surabaya, yaitu hotel Z, menggunakan bak aerasi untuk proses pengolahannya. Bak aerasi ini menghasilkan lumpur yang cukup banyak. Selain itu, efluen IPAL langsung dibuang saja ke badan air. Sehingga, muncul ide untuk merencanakan IPAL yang sesuai untuk hotel budget di Kota Surabaya dengan proses pengolahan yang menghasilkan lumpur lebih sedikit. Efluen IPAL dimanfaatkan kembali sebagai air untuk *toilet flushing* dimana direncanakan sistem plambing untuk sistem penyalurannya.

2. Rumusan Masalah

Masalah yang akan dijawab dalam perencanaan ini mencakup dua masalah utama, yaitu desain alternatif pengolahan yang sesuai untuk hotel budget di Kota Surabaya dan pemanfaatan kembali efluen IPAL untuk kegiatan perhotelan. Dalam perencanaan ini, efluen IPAL dimanfaatkan kembali untuk *toilet flushing* dengan merencanakan sistem plambing. Selain itu juga dilakukan perhitungan rencana anggaran biaya pembangunan IPAL dan sistem plambing.

3. Tinjauan Pustaka

Tinjauan pustaka dibutuhkan untuk mendapatkan teori yang akan digunakan sebagai dasar dalam perencanaan unit-unit pengolahan dan sistem plambing. Tinjauan pustaka didapatkan dari beberapa sumber, seperti *text book*, jurnal ilmiah, peraturan, dan laporan tugas akhir.

4. Pengumpulan Data

Data yang dibutuhkan dalam perencanaan ini terdiri dari data primer dan data sekunder. Data yang dikumpulkan disesuaikan dengan kebutuhan perencanaan, sehingga dapat dilakukan perencanaan dengan benar.

- a. Data Primer

Data primer didapatkan dari salah satu hotel budget di Kota Surabaya, yaitu Hotel Z.

 - Debit air limbah
Pengukuran debit air limbah dilakukan setiap jam selama 24 jam pada hari dimana terjadi okupansi paling tinggi, yaitu hari Sabtu. Pengukuran debit dilakukan pada meter air. Debit air limbah diasumsikan 90% dari debit air bersih.
 - Kualitas influen dan efluen IPAL Hotel Z
Dilakukan sampling pada inlet IPAL hotel Z. Sampel diuji di Laboratorium Kualitas Lingkungan Departemen Teknik Lingkungan FTSP ITS dengan parameter pH, COD, BOD, TSS, nitrogen, dan fosfat.
- b. Data Sekunder

Data sekunder yang dibutuhkan berupa jumlah kamar dan denah hotel Z.

5. Pengolahan Data

Data primer dan sekunder yang diperoleh kemudian diolah dan dianalisis untuk dapat merencanakan alternatif IPAL dan sistem plambing. Pengolahan data meliputi perhitungan debit air limbah, pembuatan *Detail Engineering Design* (DED) biofilter anaerob-aerob, perencanaan sistem plambing, dan pembuatan *Bill of Quantity* (BOQ) dan Rencana Anggaran Biaya (RAB) untuk pembangunan IPAL dan sistem plambing serta biaya operasional dan perawatan IPAL.

6. Kesimpulan

Berdasarkan analisis data dan pembahasan, dihasilkan kesimpulan yang menjawab tujuan perencanaan yang meliputi *Detail Engineering Design* (DED) biofilter anaerob-aerob, hasil perencanaan sistem plambing, nilai *Bill of Quantity* (BOQ) dan Rencana Anggaran Biaya (RAB) IPAL dan sistem plambing yang direncanakan.

BAB IV` HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Debit Air Limbah Hotel Budget

Debit air limbah diukur dari kebutuhan air bersih Hotel Z. Rata-rata sekitar 50 hingga 90 persen dari konsumsi air per kapita menjadi air limbah (Tchobanoglous *et al.*, 2014). Fraksi konsumsi air yang menjadi air limbah biasanya sebesar 0,8 – 0,9 (Mara, 2004). Untuk keperluan domestik pada umumnya jumlah limbahnya sebesar 80 – 90% dari pemakaian air yang berpotensi menjadi limbah (Setiyono, 2009). Sehingga, diasumsikan 90% debit rata-rata penggunaan air bersih menjadi debit rata-rata air limbah.

Debit rata-rata penggunaan air bersih hotel Z didapatkan dengan dua cara, pertama debit air bersih didapatkan dari data penggunaan air bersih hotel Z selama tiga bulan terakhir, kedua dilakukan pengukuran debit air bersih pada meter air selama 24 jam pada hari dimana okupansi mencapai nilai tertinggi, yaitu hari Sabtu. Pengambilan data penggunaan air bersih dilakukan pada tanggal 18 Februari 2017 pukul 00.00 – 24.00 WIB. Data penggunaan air bersih pada tiga bulan terakhir dapat dilihat pada Tabel 4.1.

Tabel 4. 1 Debit Penggunaan Air Bersih Hotel Z

No.	Bulan	Debit Total (m ³ /hari)	Debit Rata-rata (m ³ /hari)	Debit Rata-rata (m ³ /s)
1	November 2016	694	23	0,000266
2	Desember 2016	521	17	0,000197
3	Januari 2017	650	21	0,000243
Rata-rata		621,66	20,33	0,000235

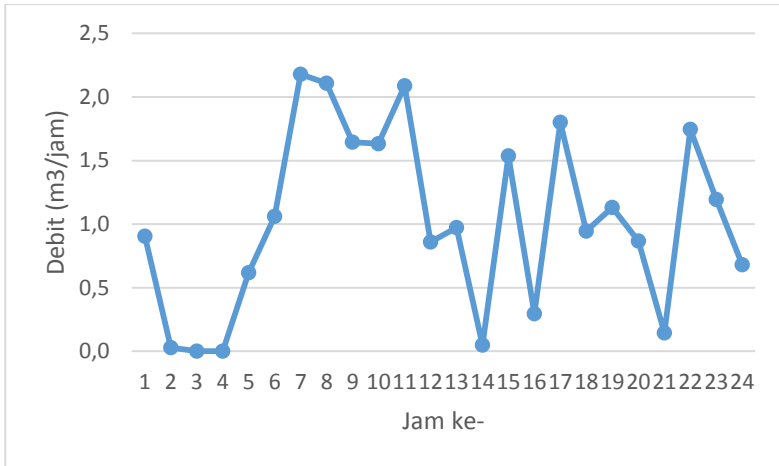
Sumber: Hasil perhitungan

Dari Tabel 4.1 diketahui debit rata-rata air bersih adalah **0,000235 m³/s**. Sedangkan hasil pengukuran debit penggunaan air bersih pada hari dimana okupansi tertinggi dapat dilihat pada Tabel 4.2.

Tabel 4. 2 Debit Penggunaan Air Bersih dalam Satu Hari

No.	Waktu (WIB)	Q air bersih (m ³ /jam)	Q air bersih (m ³ /s)
1	00.00 – 01.00	0,904	0,000251
2	01.00 – 02.00	0,029	0,000008
3	02.00 – 03.00	0	0
4	03.00 – 04.00	0,001	0,000000
5	04.00 – 05.00	0,617	0,000171
6	05.00 – 06.00	1,060	0,000294
7	06.00 – 07.00	2,179	0,000605
8	07.00 – 08.00	2,108	0,000586
9	08.00 – 09.00	1,644	0,000457
10	09.00 – 10.00	1,633	0,000454
11	10.00 – 11.00	2,088	0,000580
12	11.00 – 12.00	0,859	0,000239
13	12.00 – 13.00	0,972	0,000270
14	13.00 – 14.00	0,050	0,000014
15	14.00 – 15.00	1,537	0,000427
16	15.00 – 16.00	0,296	0,000082
17	16.00 – 17.00	1,802	0,000501
18	17.00 – 18.00	0,945	0,000262
19	18.00 – 19.00	1,131	0,000314
20	19.00 – 20.00	0,866	0,000241
21	20.00 – 21.00	0,145	0,000040
22	21.00 – 22.00	1,746	0,000485
23	22.00 – 23.00	1,195	0,000332
24	23.00 – 24.00	0,680	0,000189
Rata-rata		1,020	0,000283

Sumber: Hasil Pengukuran Lapangan



Gambar 4. 1 Fluktuasi Debit Air Bersih Hotel Z
 Sumber: Hasil Pengukuran Lapangan

Debit air bersih rata-rata pada hari okupansi tertinggi mencapai **0,000283 m³/s**. Dibandingkan dengan debit air bersih dari data tiga bulan, debit air bersih pada hari okupansi tertinggi lebih besar. Maka debit rata-rata air bersih yang digunakan adalah **0,000283 m³/s**. Sehingga debit rata-rata air limbah dapat dihitung seperti berikut.

$$\begin{aligned}
 \text{Debit rata-rata air bersih} &= 0,000283 \text{ m}^3/\text{s} \\
 \text{Faktor konversi} &= 90\% \\
 \text{Debit rata-rata air limbah} &= \text{Debit rata-rata air bersih} \times 90\% \\
 &= 0,000283 \text{ m}^3/\text{s} \times 90\% \\
 &= 0,000255 \text{ m}^3/\text{s} \\
 &= 22,04 \text{ m}^3/\text{hari}
 \end{aligned}$$

4.2 Karakteristik Air Limbah

Karakteristik air limbah menggunakan data hasil uji laboratorium sampel influen IPAL hotel Z. Sampel diambil pada hari Minggu, 19 Februari 2017 pukul 01.00 WIB. Hasil uji laboratorium dapat dilihat pada Tabel 4.3.

Tabel 4. 3 Karakteristik Air Limbah Hotel Z

No.	Parameter	Satuan	Hasil Analisa	Metode Analisa
1	Ph	-	7,2	pH meter
2	TSS	mg/L	3.972,00	Gravimetri
3	COD	mg/L O ₂	5.680,00	Reflux/Tetrimetri
4	BOD	mg/L O ₂	3.520,00	Winkler
5	Nitrogen	mg/L NH ₃ -N	36,29	Kjeldhal
6	Pospat	mg/L PO ₄ -P	30,02	Spektrofotometri

Sumber: Laboratorium Kualitas Lingkungan

Hasil uji laboratorium menunjukkan semua parameter air limbah memiliki konsentrasi yang cukup tinggi, sehingga dibutuhkan alternatif pengolahan yang dapat mengolah polutan organik dan non organik dengan baik.

4.3 Bak Ekualisasi

Bak ekualisasi berperan sebagai unit stabilisasi debit dan kuantitas air limbah, sehingga mencegah terjadinya lonjakan hidrolis maupun organik (Hamid dan Razif, 2014). Penggunaan bak ekualisasi berfungsi untuk menghilangkan atau meminimalkan *shock loading* dan menstabilkan debit yang masuk (Tchobanoglous *et al.*, 2014).

Perencanaan bak ekualisasi didasarkan pada fluktuasi debit air limbah selama 24 jam, sehingga dapat diketahui debit maksimum dan minimum air limbah yang dihasilkan setiap jam. Menurut Said dkk (2002), kriteria desain bak ekualisasi yaitu waktu detensi (td) berada diantara 4 – 8 jam.

Debit air limbah dikonversikan ke dalam bentuk volume (m³). Misal untuk waktu 00.00 – 01.00 WIB:

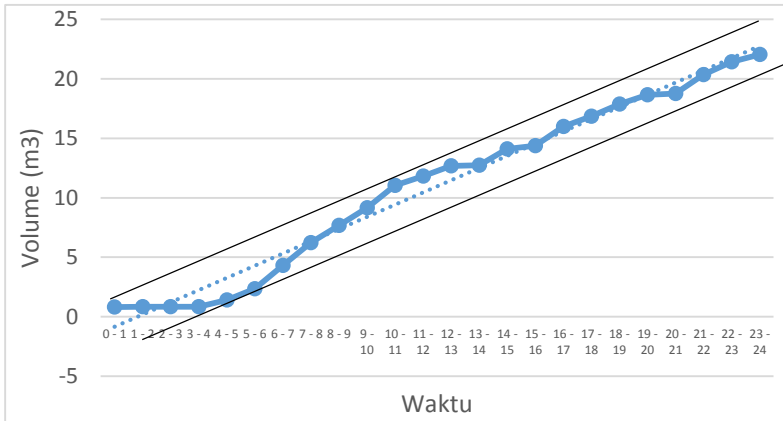
$$\begin{aligned}
 \text{Volume} &= Q \text{ air limbah} \times 1 \text{ jam} \\
 &= 0,814 \text{ m}^3/\text{jam} \times 1 \text{ jam} \\
 &= 0,814 \text{ m}^3
 \end{aligned}$$

Tabel 4. 4 Perhitungan Volume Kumulatif

Waktu	Q air bersih (m ³ /jam)	Q air limbah (m ³ /jam)	Volume (m ³)	Volume kumulatif (m ³)	Volume tersimpan (m ³)
0-1	0,904	0,814	0,814	0,814	-0,105
1-2	0,029	0,026	0,026	0,840	-0,997
2-3	0	0,000	0,000	0,840	-1,915
3-4	0,001	0,001	0,001	0,841	-2,832
4-5	0,617	0,555	0,555	1,396	-3,195
5-6	1,060	0,954	0,954	2,350	-3,160
6-7	2,179	1,961	1,961	4,311	-2,117
7-8	2,108	1,897	1,897	6,208	-1,138
8-9	1,644	1,480	1,480	7,688	-0,577
9-10	1,633	1,470	1,470	9,158	-0,025
10-11	2,088	1,879	1,879	11,037	0,936
11-12	0,859	0,773	0,773	11,810	0,791
12-13	0,97	0,875	0,875	12,685	0,747
13-14	0,050	0,045	0,045	12,730	-0,126
14-15	1,537	1,383	1,383	14,113	0,339
15-16	0,296	0,266	0,266	14,379	-0,313
16-17	1,802	1,622	1,622	16,001	0,391
17-18	0,945	0,850	0,850	16,852	0,323
18-19	1,131	1,018	1,018	17,870	0,423
19-20	0,866	0,779	0,779	18,649	0,284
20-21	0,145	0,130	0,130	18,779	-0,504
21-22	1,746	1,571	1,571	20,351	0,149
22-23	1,195	1,076	1,076	21,426	0,306
23-24	0,680	0,612	0,612	22,038	0,000

Sumber: Hasil Perhitungan

Dibuat grafik hasil perhitungan volume kumulatif terhadap waktu yang dapat dilihat pada Gambar 4.2.



Gambar 4. 2 Volume Kumulatif Bak Ekualisasi
Sumber: Hasil Perhitungan

Selanjutnya, dibuat garis singgung pada grafik yang sejajar dengan garis rata-rata. Volume bak ekualisasi merupakan jarak vertikal dari garis singgung terhadap garis debit rata-rata.

$$\text{Volume bak} = 0,936 \text{ m}^3 - (-3,195) \text{ m}^3 = 4,131 \text{ m}^3$$

Perhitungan Dimensi

Jumlah bak = 1 buah

Q rata-rata = $22,04 \text{ m}^3/\text{hari} = 0,918 \text{ m}^3/\text{jam}$

Volume bak = $4,131 \text{ m}^3$

H_{air} = 1,9 m

Freeboard (fb) = 0,3 m

H_{bak} = $H_{\text{air}} + \text{fb}$
 $= 1,9 \text{ m} + 0,3 \text{ m}$
 $= 2,2 \text{ m}$

As = $\text{Volume bak} / H_{\text{air}}$
 $= 4,131 \text{ m}^3 / 1,9 \text{ m}$
 $= 2,174 \text{ m}^2$

Lebar = 1,5 m

$$\begin{aligned}
 \text{Panjang} &= As / L \\
 &= 2,174 \text{ m}^2 / 1,5 \text{ m} \\
 &= 1,45 \text{ m} = 1,5 \text{ m} \\
 \text{Cek td} &= (H_{\text{air}} \times \text{Lebar} \times \text{Panjang}) / Q \text{ rata-rata} \\
 &= (1,9 \text{ m} \times 1,5 \text{ m} \times 1,5 \text{ m}) / 0,918 \text{ m}^3/\text{jam} \\
 &= 4,656 \text{ jam (memenuhi)}
 \end{aligned}$$

Dimensi bak ekualisasi berdasarkan perhitungan adalah:

$$\begin{aligned}
 \text{Panjang} &= 1,5 \text{ m} \\
 \text{Lebar} &= 1,5 \text{ m} \\
 \text{Tinggi} &= 2,2 \text{ m}
 \end{aligned}$$

Penggunaan Pompa

Fungsi utama pompa adalah mengalirkan air secara konstan dari bak ekualisasi menuju bak pengendap awal. Debit yang digunakan adalah dua kali debit rata-rata, karena setengah dari debit akan diresirkulasi kembali ke bak ekualisasi agar proses pemerataan beban berjalan dengan baik.

$$\begin{aligned}
 Q &= 22,04 \text{ m}^3/\text{hari} \times 2 \\
 &= 44,08 \text{ m}^3/\text{hari} \\
 &= 0,03 \text{ m}^3/\text{menit} \\
 &= 0,51 \text{ L/s}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Kecepatan aliran (v)} &= 2 \text{ m/s} \\
 \text{Luas penampang} &= Q / v \\
 \text{Pipa (A)} &= 0,51 \text{ L/s} / 2 \text{ m/s} \\
 &= 0,000255 \text{ m}^2
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Diameter pipa (D)} &= \sqrt{\frac{4 \times A}{\pi}} \\
 &= \sqrt{\frac{4 \times 0,000255 \text{ m}^2}{3,14}} \\
 &= 0,018 \text{ m} \\
 &= 18 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{D yang digunakan} &= 25 \text{ mm} = 0,025 \text{ m} \\
 \text{Cek kecepatan} &= Q / A \\
 &= 0,51 \text{ L/s} / (1/4 \pi D^2) \\
 &= 0,51 \text{ L/s} / (1/4 \times 3,14 \times (0,025 \text{ m})^2) \\
 &= 1,04 \text{ m/s}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
\text{Hf statis} &= 4,8 \text{ m} \\
L_{\text{discharge}} &= 6,85 \text{ m} \\
\text{Koefisien kekasaran (C)} &= 130 \\
\text{Hf mayor} &= \left(\frac{Q}{0,00155 \times C \times D^{2,63}} \right)^{1,85} \times L \\
&= \left(\frac{0,51 \text{ L/s}}{0,00155 \times 130 \times (2,5 \text{ cm})^{2,63}} \right)^{1,85} \times 6,85 \text{ m} \\
&= 0,442 \text{ m} \\
\text{K (Tee)} &= 0,9 \\
\text{K (90}^\circ) &= 0,5 \\
\text{Hf (Tee)} &= k \times v^2 / 2g \\
&= 0,9 \times (1,04 \text{ m/s})^2 / 2 (9,8 \text{ m}^2/\text{s}^2) \\
&= 0,05 \text{ m} \\
\text{Hf (90}^\circ) &= 3 \times k \times v^2 / 2g \\
&= 3 \times 0,5 \times (1,04 \text{ m/s})^2 / 2 (9,8 \text{ m}^2/\text{s}^2) \\
&= 0,083 \text{ m} \\
\text{Hf kecepatan} &= v^2 / 2g \\
&= (1,04 \text{ m/s})^2 / 2(9,8 \text{ m}^2/\text{s}^2) \\
&= 0,055 \text{ m} \\
\text{Hf minor} &= \text{Hf (Tee)} + \text{Hf (90}^\circ) + \text{Hf kecepatan} \\
&= 0,05 \text{ m} + 0,083 \text{ m} + 0,055 \text{ m} \\
&= 0,188 \text{ m} \\
\text{Head pompa} &= \text{Hf statis} + \text{Hf mayor} + \text{Hf minor} \\
&= 4,8 \text{ m} + 0,442 \text{ m} + 0,188 \text{ m} \\
&= 5,430 \text{ m}
\end{aligned}$$

Maka, pompa yang dapat memiliki spesifikasi sebagai berikut.

Discharge bore	: 25 mm
Motor output	: 0,1 kW
Maksimum head	: 7 m
Flowrate	: 0,08 m ³ /menit

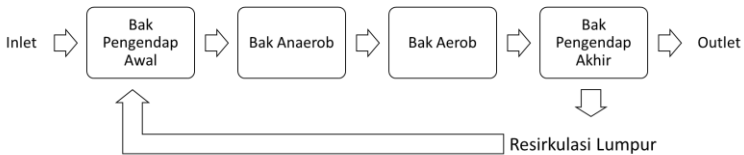
4.4 Biofilter Anaerob-Aerob

IPAL yang direncanakan menggunakan proses pengolahan biofilter ananerob-aerob. Material yang digunakan untuk bangunan IPAL adalah bahan fiber dan beton cor. Media biofilter yang

digunakan pada bak anaerob dan bak aerob adalah media tipe sarang tawon yang memiliki spesifikasi:

Material : PVC
Ukuran lubang : 2 cm x 2 cm
Ketebalan : 0,2 mm – 0,5 mm
Luas spesifik : 150 – 220 m²/m³
Porositas : 0,98
Warna : hitam

Rangkaian biofilter anaerob terdiri dari bak pengendap awal (settler), bak anaerobik, bak aerobik, dan bak pengendap akhir.



Gambar 4. 3 Skema Pengolahan pada Biofilter Anaerob-Aerob

1. Bak Pengendap Awal

Bak pengendap awal merupakan pengolahan pertama pada unit biofilter anaerob-aerob. Bak pengendap awal berfungsi sebagai pengendap partikel-partikel diskrit yang dapat menyebabkan *clogging* pada media filter. Lumpur yang diendapkan mengalami proses degradasi oleh mikroorganisme yang ada pada lumpur tersebut.

Menurut Sasse (2009), partikel-partikel yang mengendap terakumulasi di dasar bak. Sebagian endapan juga mengandung zat organik yang mulai terurai. Penguraian yang terjadi pada sebagian endapan lumpur ini, menghasilkan pembentukan karbon dioksida, metana, dan gas lain. Gas-gas tersebut terperangkap dalam partikel lumpur yang kemudian melayang ke atas ketika jumlah molekul gas meningkat. Setelah penguraian dan pelepasan gas, lumpur yang telah stabil mengendap secara permanen di dasar bak. Lumpur harus dikuras dalam interval yang teratur karena banyak patogen, khususnya cacing, juga mengendap. Pengendapan berperan penting dalam menjaga kondisi higienis pada pengolahan air limbah.

Kriteria desain untuk bak pengendap awal pada rangkaian biofilter anaerob-aerob adalah sebagai berikut.

<i>Organic Loading Rate</i> (OLR)	< 4 – 5 kg COD/m ³ .hari
SS _{settleable} /COD ratio	= 0,35 – 0,45 (domestik)
HRT <i>settler</i>	= 2 jam

2. Bak Anaerob

Air limpasan dari bak pengendap awal dialirkan ke bak anaerob dengan arah aliran dari atas ke bawah dan bawah ke atas. Di dalam bak anaerob diisi dengan media filter. Menurut Sasse (2009), kriteria desain untuk bak anaerob adalah sebagai berikut.

<i>Organic Loading Rate</i> (OLR)	< 4 – 5 kg COD/m ³ .hari
<i>Up-flow Velocity</i> (V_{up})	< 2 m/jam
HRT <i>anaerobic filter</i>	= 24 – 48 jam

3. Bak Aerob

Bak aerob menerima limpasan air dari bak anaerob. Di dalam bak aerob diisi media filter yang sama dengan bak anaerob, namun dengan penambahan udara (aerasi). Menurut Casey (2006) dan Sasse (2009), kriteria desain untuk *anaerobic filter* adalah sebagai berikut.

<i>Organic Loading Rate</i> (OLR)	< 5 – 6 kg COD/m ³ .hari
<i>Up-flow Velocity</i> (V_{up})	< 2 m/jam
HRT <i>aerobic filter</i>	= 10 – 40 jam

4. Bak Pengendap Akhir

Bak sedimentasi merupakan bagian terakhir dari rangkaian biofilter anaerob-aerob. Lumpur yang dihasilkan dari proses aerasi di bak aerob diendapkan di bak pengendap akhir. Dalam bak pengendap akhir, lumpur yang mengandung mikroorganisme yang masih aktif dipisahkan dari air limbah yang telah diolah (Said, 2002). Berdasarkan SNI 6774-2008 tentang Tata Cara Perencanaan Unit Paket Instalasi Pengolahan Air, kriteria desain unit sedimentasi adalah:

Beban permukaan	= 0,8 – 2,5 m ³ /m ² .jam
Waktu detensi	= 1,5 – 3 jam

4.5 Efisiensi Penyisihan

Efisiensi penyisihan masing-masing parameter dipengaruhi oleh beberapa hal, seperti waktu detensi, kualitas air limbah, luas media spesifik, dan lain-lain. Proses pengolahan akan berjalan optimal jika kebutuhan nutrisi terpenuhi.

4.5.1 Bak Pengendap Awal

Diketahui:

[TSS in]	= 3.972 mg/L
[COD in]	= 5.680 mg/L
[BOD in]	= 3.520 mg/L
[N in]	= 36,29 mg/L
[P in]	= 30,02 mg/L
T	= 30°C

Direncanakan:

td settler	= 2 jam
------------	---------

Perhitungan:

$SS_{\text{settleable}}/\text{COD ratio}$	= 0,45 (0,35 – 0,45)
COD removal	= $(SS_{\text{settleable}}/\text{COD}/0,6 \times (td-1) \times 0,1/2) + 0,3$ = $(0,45/0,6 \times (2-1) \times 0,1 / 2) + 0,3$ = 33,75%

Efisiensi removal COD diplotkan pada Gambar 2.8 untuk mendapatkan faktor rasio removal BOD/COD.

BOD/COD removal	= 1,06 (COD removal < 50%)
BOD removal	= BOD/COD removal \times COD removal = 1,06 \times 33,75% = 35,78%
[COD out]	= [COD in] \times (1 – COD removal) = 5.680 mg/L \times (1 – 33,75%) = 3.763 mg/L
[BOD out]	= [BOD in] \times (1 – BOD removal) = 3.520 mg/L \times (1 – 35,78%) = 2.260,72 mg/L

$$\begin{aligned}
[\text{TSS tersisihkan}] &= \text{SS}_{\text{settleable}}/\text{COD ratio} \times [\text{COD in}] \\
&= 0,45 \times 5.680 \text{ mg/L} \\
&= 2.556 \text{ mg/L} \\
[\text{TSS out}] &= [\text{TSS in}] - [\text{TSS tersisihkan}] \\
&= 5.680 \text{ mg/L} - 2.556 \text{ mg/L} \\
&= 1.416 \text{ mg/L} \\
\text{Removal TSS} &= [\text{TSS tersisihkan}] / [\text{TSS in}] \times 100\% \\
&= 2.556 \text{ mg/L} / 5.680 \text{ mg/L} \times 100\% \\
&= 64,35\%
\end{aligned}$$

Pada bak pengendap awal tidak terjadi penyisihan nitrogen dan fosfat karena proses yang terjadi adalah proses fisik.

4.5.2 Bak Anaerob

Diketahui:

$$\begin{aligned}
[\text{TSS in}] &= 1.416 \text{ mg/L} \\
[\text{COD in}] &= 3.763 \text{ mg/L} \\
[\text{BOD in}] &= 2.260,72 \text{ mg/L} \\
[\text{N in}] &= 36,29 \text{ mg/L} \\
[\text{P in}] &= 30,02 \text{ mg/L} \\
T &= 30^\circ\text{C}
\end{aligned}$$

Direncanakan:

$$\begin{aligned}
\text{HRT tiap bak} &= 28 \text{ jam} \\
\text{Jumlah bak direncanakan (n)} &= 4 \text{ buah} \\
\text{Porositas media (P}_m\text{)} &= 98\% \\
\text{Luas spesifik media} &= 200 \text{ m}^2/\text{m}^3
\end{aligned}$$

Perhitungan:

$$\begin{aligned}
f\text{-temp (temp} < 30^\circ\text{C)} &= ((\text{temp} - 25) \times 0,08 / 5) + 1 \\
&= ((30 - 25) \times 0,08 / 5) + 1 \\
&= 1,08 \\
f\text{-strenght} &= 1,06 \text{ (COD in} \geq 3.000 \text{ mg/L)} \\
f\text{-surface} &= 1,06 \text{ (surface} \geq 200 \text{ m}^2/\text{m}^3\text{)} \\
f\text{-HRT(HRT} < 100 \text{ jam)} &= ((\text{HRT} - 24) \times 0,03 / 9) + 0,67 \\
&= ((28 - 24) \times 0,03 / 9) + 0,67 \\
&= 0,683
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
\text{COD removal} &= f \cdot \text{temp} \cdot \text{strenght} \cdot \text{HRT} \cdot \text{surface} (1 + (n \times 0,04)) \\
&= 1,08 \times 1,06 \times 0,683 \times 1,06 (1 + (4 \times 0,04)) \\
&= 0,961891 \\
&= 96,19\%
\end{aligned}$$

Rasio BOD/COD removal didapatkan dari memplotkan efisiensi removal COD pada Gambar 2.8.

$$\begin{aligned}
\text{BOD/COD removal} &= 1,025 \quad (\text{COD removal} \geq 85\%) \\
\text{BOD removal} &= \text{BOD/COD removal} \times \text{COD removal} \\
&= 1,025 \times 96,19\% \\
&= 98,59\%
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
[\text{COD out}] &= [\text{COD in}] \times (1 - \text{COD removal}) \\
&= 3.763 \text{ mg/L} \times (1 - 96,19\%) \\
&= 143,40 \text{ mg/L}
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
[\text{BOD out}] &= [\text{BOD in}] \times (1 - \text{BOD removal}) \\
&= 2.260,72 \text{ mg/L} \times (1 - 98,59\%) \\
&= 31,79 \text{ mg/L}
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
\text{SS}_{\text{settleable}}/\text{COD ratio} &= 0,35 \\
[\text{TSS tersisihkan}] &= \text{SS}_{\text{settleable}}/\text{COD ratio} \times [\text{COD in}] \\
&= 0,35 \times 1.416 \text{ mg/L} \\
&= 1.317,05 \text{ mg/L}
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
[\text{TSS out}] &= [\text{TSS in}] - [\text{TSS tersisihkan}] \\
&= 1.416 \text{ mg/L} - 1.317,05 \text{ mg/L} \\
&= 98,95 \text{ mg/L}
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
\text{Removal TSS} &= [\text{TSS tersisihkan}] / [\text{TSS in}] \times 100\% \\
&= 1.317,05 \text{ mg/L} / 1.416 \text{ mg/L} \times 100\% \\
&= 93,01\%
\end{aligned}$$

Kebutuhan Nutrien

Air limbah dengan konsentrasi tinggi akan membutuhkan penambahan nitrogen dan fosfor untuk menunjang pertumbuhan bakteri anaerobik. Pada influen direkomendasikan rasio COD:N:P adalah 600:5:1 selama *start up* dan 300:5:1 selama operasi dalam jangka panjang (Tchobanoglous, 2014).

$$\begin{aligned}
\text{Rasio COD:N:P} &= 300:5:1 \\
[\text{COD in}] &= 3.763 \text{ mg/L}
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
[\text{COD out}] &= 143,40 \text{ mg/L} \\
[\text{COD tersisihkan}] &= [\text{COD in}] - [\text{COD out}] \\
&= 3.763 \text{ mg/L} - 143,40 \text{ mg/L} \\
&= 3.619,60 \text{ mg/L} \\
[\text{Kebutuhan N}] &= (5/300) \times [\text{COD tersisihkan}] \\
&= (5/300) \times 3.619,60 \text{ mg/L} \\
&= 60,33 \text{ mg/L} \\
[\text{Kebutuhan P}] &= (1/300) \times [\text{COD tersisihkan}] \\
&= (1/300) \times 3.619,0 \text{ mg/L} \\
&= 12,07 \text{ mg/L} \\
[\text{Kekurangan N}] &= [\text{Kebutuhan N}] - [\text{N in}] \\
&= 60,33 \text{ mg/L} - 36,29 \text{ mg/L} \\
&= 24,04 \text{ mg/L} \\
[\text{Kelebihan P (P out)}] &= [\text{P in}] - [\text{Kebutuhan P}] \\
&= 30,02 \text{ mg/L} - 12,07 \text{ mg/L} \\
&= 17,95 \text{ mg/L}
\end{aligned}$$

4.5.3 Bak Aerob

Diketahui:

$$\begin{aligned}
[\text{TSS in}] &= 98,95 \text{ mg/L} \\
[\text{COD in}] &= 146,40 \text{ mg/L} \\
[\text{BOD in}] &= 31,79 \text{ mg/L} \\
[\text{P in}] &= 17,95 \text{ mg/L} \\
T &= 30^\circ\text{C}
\end{aligned}$$

Direncanakan:

$$\begin{aligned}
\text{HRT tiap bak} &= 35 \text{ jam} \\
\text{Jumlah bak direncanakan (n)} &= 1 \text{ buah} \\
\text{Porositas media (P}_m\text{)} &= 98\% \\
\text{Luas spesifik media} &= 200 \text{ m}^2/\text{m}^3
\end{aligned}$$

Perhitungan Removal

$$\begin{aligned}
f\text{-temp (temp} < 30^\circ\text{C)} &= ((\text{temp}-25) \times 0,08 / 5) + 1 \\
&= ((30 - 25) \times 0,08 / 5) + 1 \\
&= 1,08
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
f\text{-strenght} &= \text{COD in} \times 0,17 / 2.000 + 0,87 \\
(\text{COD in} < 2.000 \text{ mg/L}) &= 146,40 \times 0,17 / 2.000 + 0,87 \\
&= 0,882 \\
f\text{-HRT (HRT} < 24 \text{ jam)} &= ((\text{HRT} - 33) \times 0,09 / 67) + 0,7 \\
&= ((35 - 33) \times 0,09 / 67) + 0,7 \\
&= 0,703 \\
f\text{-surface} &= 1,06 \text{ (surface} \geq 200 \text{ m}^2/\text{m}^3) \\
\text{COD removal} &= f\text{-temp} \times f\text{-strenght} \times f\text{-HRT} \times f\text{-surface} (1 + (n \times 0,04)) \\
&= 1,08 \times 0,882 \times 0,703 \times 1,06 (1 + (1 \times 0,04)) \\
&= 73,81\%
\end{aligned}$$

Rasio BOD/COD removal didapatkan dari memplotkan efisiensi removal COD pada Gambar 2.8.

$$\begin{aligned}
\text{BOD/COD removal} &= (\text{COD removal} - 0,5) \times 0,065 / 0,25 + 1,06 \\
(\text{COD removal} < 75\%) &= (0,7381 - 0,5) \times 0,065 / 0,25 + 1,06 \\
&= 1,122
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
\text{BOD removal} &= \text{BOD/COD removal} \times \text{COD removal} \\
&= 1,122 \times 73,81\% \\
&= 82,80\%
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
[\text{COD out}] &= [\text{COD in}] \times (1 - \text{COD removal}) \\
&= 143,40 \text{ mg/L} \times (1 - 73,81\%) \\
&= 37,56 \text{ mg/L}
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
[\text{BOD out}] &= [\text{BOD in}] \times (1 - \text{BOD removal}) \\
&= 31,79 \text{ mg/L} \times (1 - 82,80\%) \\
&= 5,47 \text{ mg/L}
\end{aligned}$$

$$\text{SS}_{\text{settleable}}/\text{COD ratio} = 0,35$$

$$\begin{aligned}
[\text{TSS tersisihkan}] &= \text{SS}_{\text{settleable}}/\text{COD ratio} \times [\text{COD in}] \\
&= 0,35 \times 98,95 \text{ mg/L} \\
&= 50,19 \text{ mg/L}
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
[\text{TSS out}] &= [\text{TSS in}] - [\text{TSS tersisihkan}] \\
&= 98,95 \text{ mg/L} - 50,19 \text{ mg/L} \\
&= 48,76 \text{ mg/L}
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
\text{Removal TSS} &= [\text{TSS tersisihkan}] / [\text{TSS in}] \times 100\% \\
&= 50,19 \text{ mg/L} / 98,95 \text{ mg/L} \times 100\% \\
&= 50,72\%
\end{aligned}$$

Kebutuhan Nutrien

Dalam pengolahan air limbah secara aerobik, rasio BOD:N:P harus berada dalam rentang 100:10:1 dan 100:5:1 (Winkler, 2013).

$$\begin{aligned} \text{Rasio BOD:N:P} &= 100:10:1 \\ \text{BOD in} &= 31,79 \text{ mg/L} \\ \text{BOD out} &= 5,47 \text{ mg/L} \\ \text{BOD tersisihkan} &= \text{BOD in} - \text{BOD out} \\ &= 31,79 \text{ mg/L} - 5,47 \text{ mg/L} \\ &= 26,32 \text{ mg/L} \\ \text{[Kebutuhan N]} &= (10 / 100) \times \text{BOD tersisihkan} \\ &= (10 / 100) \times 26,32 \text{ mg/L} \\ &= 2,63 \text{ mg/L} \\ \text{[Kebutuhan P]} &= (1 / 100) \times \text{BOD tersisihkan} \\ &= (1 / 100) \times 26,32 \text{ mg/L} \\ &= 0,26 \text{ mg/L} \\ \text{[Kekurangan N]} &= \text{[Kebutuhan N]} \\ &= 2,63 \text{ mg/L} \\ \text{[Kelebihan P (P out)]} &= \text{[P in]} - \text{[Kebutuhan P]} \\ &= 17,95 \text{ mg/L} - 0,26 \text{ mg/L} \\ &= 17,69 \text{ mg/L} \\ \text{[Total kekurangan N]} &= \text{[Kekurangan N bak anaerob]} + \\ &\quad \text{[Kekurangan N bak aerob]} \\ &= 24,04 \text{ mg/L} + 2,63 \text{ mg/L} \\ &= 26,67 \text{ mg/L} \end{aligned}$$

Efisiensi penyisihan pada biofilter anaerob-aerob dapat dilihat pada Tabel 4.5.

Tabel 4. 5 Efisiensi Penyisihan

Parameter	Inlet (mg/L)	BP Awal	Bak Anaerob	Bak Aerob	Outlet (mg/L)	Efisiensi Total
BOD	3.520	35,78%	98,59%	82,80%	5,47	99,84%
COD	5.680	35,75%	96,19%	73,81%	37,56	99,34%
TSS	3.972	64,35%	93,01%	50,72%	48,76	98,77%

Sumber: Hasil perhitungan

Efluen telah memenuhi kriteria mutu air kelas tiga berdasarkan Peraturan Pemerintah Republik Indonesia Nomor 82 Tahun 2001, dimana nilai BOD < 6 mg/L, COD < 50 mg/L, dan TSS < 400 mg/L.

4.6 Kesetimbangan Massa

Kesetimbangan massa digunakan untuk menggambarkan perubahan massa yang terjadi dalam proses pengolahan air limbah. Prinsip kesetimbangan yaitu influen yang masuk ke proses pengolahan akan sama dengan total efluennya. Terdapat resirkulasi lumpur yang dihasilkan dari bak aerob ke bak pengendap awal. Kesetimbangan massa pada proses pengolahan biofilter anaerob aerob dapat dilihat pada Gambar 4.5.

Produksi Lumpur Bak Aerob

Q in	= 22,04 m ³ /hari
[COD in bak aerob]	= 143,40 mg/L
[COD out]	= 37,56 mg/L
<i>Synthesis yield in aerob (Y)</i>	= 0,6 mg VSS/mg COD
<i>Endogenous decay coefficient (b)</i>	= 0,15 g VSS/g VSS.hari
<i>Fraction of biomass as cell debris (f_d)</i>	= 0,15 g VSS/g VSS
<i>Sludge retention time (SRT)</i>	= 1,46 hari
VSS/TSS	= 0,85

$$\begin{aligned} \text{Observed yield coefficient (Y}_{\text{obs}}) &= \frac{Y}{1+b(\text{SRT})} + \frac{(f_d)(b)(Y)(\text{SRT})}{1+b(\text{SRT})} \\ &= \frac{0,6}{1+0,15(1,46)} + \frac{(0,15)(0,15)(0,6)(5)}{1+0,15(1,46)} \\ &= 0,51 \text{ g VSS/g COD} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} P_{x \text{ VSS}} &= Y_{\text{obs}} \times Q \text{ in} \times ([\text{COD in bak aerob}] - [\text{COD out}]) \\ &= 0,51 \times 22,04 \text{ m}^3/\text{hari} \times (143,40 \text{ mg/L} - 37,56 \text{ mg/L}) \\ &= 1,19 \text{ kg VSS/hari} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} P_{x \text{ TSS}} &= P_{x \text{ VSS}} / 0,85 \\ &= 1,19 \text{ kg VSS/hari} / 0,85 \\ &= 1,40 \text{ kg TSS/hari} \end{aligned}$$

$$\text{Specific gravity (Sg)} = 1,05$$

$$\text{Massa jenis air } (\rho_{\text{air}}) = 1.000 \text{ kg/m}^3$$

$$\begin{aligned} \% \text{solid} &= 5\% \\ Q \text{ lumpur} &= P_{\text{TSS}} / (S_g \times \rho_{\text{air}} \times 5\%) \\ &= 1,40 / (1,05 \times 1000 \times 5\%) \\ &= 0,02 \text{ m}^3/\text{hari} \end{aligned}$$

Diasumsikan lumpur aktif yang diresirkulasi ke bak pengendap awal sebesar 50% debit lumpur.

$$\begin{aligned} Q \text{ resirkulasi} &= 50\% \times Q \text{ lumpur} \\ &= 50\% \times 0,02 \text{ m}^3/\text{hari} \\ &= 0,01 \text{ m}^3/\text{hari} \end{aligned}$$

Berdasarkan debit resirkulasi, pompa lumpur yang dapat digunakan memiliki spesifikasi:

Kapasitas	: 0,1 m ³ /s
Total head	: 20 m
Discharge bore	: 50 mm
Motor output	: 1,5 kW

Resirkulasi Lumpur

$$\begin{aligned} Q \text{ resirkulasi} &= 0,01 \text{ m}^3/\text{hari} \\ \text{TSS tersisihkan} &= [\text{TSS in bak aerob}] - [\text{TSS out}] \\ &= 98,95 \text{ mg/L} - 48,76 \text{ mg/L} \\ &= 50,19 \text{ mg/L} \\ \text{COD tersisihkan} &= [\text{COD in bak aerob}] - [\text{COD out}] \\ &= 143,40 \text{ mg/L} - 37,56 \text{ mg/L} \\ &= 105,84 \text{ mg/L} \\ \text{BOD tersisihkan} &= [\text{BOD in bak aerob}] - [\text{BOD out}] \\ &= 31,79 \text{ mg/L} - 5,47 \text{ mg/L} \\ &= 26,32 \text{ mg/L} \\ \text{TSS resirkulasi} &= Q \text{ resirkulasi} \times \text{TSS tersisihkan} \\ &= 0,01 \text{ m}^3/\text{hari} \times 50,19 \text{ mg/L} \\ &= 0,0005 \text{ kg/hari} \\ \text{COD resirkulasi} &= Q \text{ resirkulasi} \times \text{COD tersisihkan} \\ &= 0,01 \text{ m}^3/\text{hari} \times 105,84 \text{ mg/L} \\ &= 0,0011 \text{ kg/hari} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{BOD resirkulasi} &= Q \text{ resirkulasi} \times \text{BOD tersisihkan} \\
 &= 0,01 \text{ m}^3/\text{hari} \times 26,32 \text{ mg/L} \\
 &= 0,0003 \text{ kg/hari}
 \end{aligned}$$

Bak Pengendap Awal

$$Q \text{ in} = 22,04 \text{ m}^3/\text{hari}$$

$$[\text{TSS in}] = 3.972 \text{ mg/L}$$

$$[\text{COD in}] = 5.680 \text{ mg/L}$$

$$[\text{BOD in}] = 3.520 \text{ mg/L}$$

$$[\text{N in}] = 36,29 \text{ mg/L}$$

$$[\text{P in}] = 30,02 \text{ mg/L}$$

$$\text{TSS removal} = 64,35\%$$

$$\text{COD removal} = 35,75\%$$

$$\text{BOD removal} = 35,78\%$$

$$\begin{aligned}
 \text{Massa TSS in} &= (Q \text{ in} \times \text{TSS in}) + \text{TSS resirkulasi} \\
 &= (22,04 \text{ m}^3/\text{hari} \times 3.972 \text{ mg/L}) + 0,0005 \text{ kg/hari} \\
 &= 87,54 \text{ kg/hari}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Massa COD in} &= (Q \text{ in} \times \text{COD in}) + \text{COD resirkulasi} \\
 &= (22,04 \text{ m}^3/\text{hari} \times 5.680 \text{ mg/L}) + 0,0011 \text{ kg/hari} \\
 &= 125,19 \text{ kg/hari}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Massa BOD in} &= (Q \text{ in} \times \text{BOD in}) + \text{BOD resirkulasi} \\
 &= (22,04 \text{ m}^3/\text{hari} \times 3.520 \text{ mg/L}) + 0,0003 \text{ kg/hari} \\
 &= 77,58 \text{ kg/hari}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Massa N in} &= Q \text{ in} \times \text{N in} \\
 &= 22,04 \text{ m}^3/\text{hari} \times 36,29 \text{ mg/L} \\
 &= 0,80 \text{ kg/hari}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
\text{Massa P in} &= Q_{\text{in}} \times P_{\text{in}} \\
&= 22,04 \text{ m}^3/\text{hari} \times 30,02 \text{ mg/L} \\
&= 0,66 \text{ kg/hari} \\
\text{Massa TSS out} &= \text{Massa TSS in} \times (1 - \text{TSS removal}) \\
&= 87,54 \text{ kg/hari} \times (1 - 64,35\%) \\
&= 31,21 \text{ kg/hari} \\
\text{Massa COD out} &= \text{Massa COD in} \times (1 - \text{COD removal}) \\
&= 125,19 \text{ kg/hari} \times (1 - 33,75\%) \\
&= 82,94 \text{ kg/hari} \\
\text{Massa BOD out} &= \text{Massa BOD in} \times (1 - \text{BOD removal}) \\
&= 77,58 \text{ kg/hari} \times (1 - 35,78\%) \\
&= 49,83 \text{ kg/hari} \\
\text{Massa N out} &= \text{Massa N in} \\
&= 0,80 \text{ kg/hari} \\
\text{Massa P out} &= \text{Massa P in} \\
&= 0,66 \text{ kg/hari} \\
\text{Massa TSS tersisihkan} &= \text{Massa TSS in} - \text{Massa TSS out} \\
&= 87,54 \text{ kg/hari} - 31,21 \text{ kg/hari} \\
&= 56,33 \text{ kg/hari} \\
\text{Massa COD tersisihkan} &= \text{Massa COD in} - \text{Massa COD out} \\
&= 125,19 \text{ kg/hari} - 82,94 \text{ kg/hari} \\
&= 42,25 \text{ kg/hari} \\
\text{Massa BOD tersisihkan} &= \text{Massa BOD in} - \text{Massa BOD out} \\
&= 77,58 \text{ kg/hari} - 49,83 \text{ kg/hari} \\
&= 27,75 \text{ kg/hari}
\end{aligned}$$

Bak Anaerob

Q in	= 22,04 m ³ /hari
[TSS in]	= 1.416 mg/L
[COD in]	= 3.763 mg/L
[BOD in]	= 2.260,72 mg/L
[N in]	= 36,29 mg/L
[P in]	= 30,02 mg/L
TSS removal	= 93,01%
COD removal	= 96,19%
BOD removal	= 98,59%
Kebutuhan N	= 60,33 mg/L
Penambahan N	= 26,67 mg/L
Kebutuhan P	= 12,07 mg/L
Massa TSS in	= Q in × TSS in = 22,04 m ³ /hari × 1.416 mg/L = 31,21 kg/hari
Massa COD in	= Q in × COD in = 22,04 m ³ /hari × 3.763 mg/L = 82,94 kg/hari
Massa BOD in	= Q in × BOD in = 22,04 m ³ /hari × 2.260,72 mg/L = 49,83 kg/hari
Massa N in	= Q in × N in = 22,04 m ³ /hari × 36,29 mg/L = 0,80 kg/hari

$$\begin{aligned}
\text{Massa P in} &= Q_{\text{in}} \times P_{\text{in}} \\
&= 22,04 \text{ m}^3/\text{hari} \times 30,02 \text{ mg/L} \\
&= 0,66 \text{ kg/hari} \\
\text{Massa TSS out} &= \text{Massa TSS in} \times (1 - \text{TSS removal}) \\
&= 31,21 \text{ kg/hari} \times (1 - 93,01\%) \\
&= 2,18 \text{ kg/hari} \\
\text{Massa COD out} &= \text{Massa COD in} \times (1 - \text{COD removal}) \\
&= 82,94 \text{ kg/hari} \times (1 - 96,19\%) \\
&= 3,16 \text{ kg/hari} \\
\text{Massa BOD out} &= \text{Massa BOD in} \times (1 - \text{BOD removal}) \\
&= 49,83 \text{ kg/hari} \times (1 - 98,59\%) \\
&= 0,70 \text{ kg/hari} \\
\text{Massa TSS tersisihkan} &= \text{Massa TSS in} - \text{Massa TSS out} \\
&= 31,21 \text{ kg/hari} - 2,18 \text{ kg/hari} \\
&= 29,03 \text{ kg/hari} \\
\text{Massa COD tersisihkan} &= \text{Massa COD in} - \text{Massa COD out} \\
&= 82,94 \text{ kg/hari} - 3,16 \text{ kg/hari} \\
&= 79,78 \text{ kg/hari} \\
\text{Massa BOD tersisihkan} &= \text{Massa BOD in} - \text{Massa BOD out} \\
&= 49,83 \text{ kg/hari} - 0,70 \text{ kg/hari} \\
&= 49,13 \text{ kg/hari} \\
\text{Massa N dibutuhkan} &= Q_{\text{in}} \times \text{Kebutuhan N} \\
&= 22,04 \text{ m}^3/\text{hari} \times 60,33 \text{ mg/L} \\
&= 1,33 \text{ kg/hari} \\
\text{Massa N ditambahkan} &= Q_{\text{in}} \times \text{Penambahan N} \\
&= 22,04 \text{ m}^3/\text{hari} \times 26,67 \text{ mg/L} \\
&= 0,59 \text{ kg/hari}
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Massa N out} &= \text{Massa N in} - \text{Massa N dibutuhkan} + \\ &\quad \text{Massa N ditambahkan} \\ &= 0,80 \text{ kg/hari} - 1,33 \text{ kg/hari} + 0,59 \text{ kg/hari} \\ &= 0,06 \text{ kg/hari} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Massa P dibutuhkan} &= Q \times \text{Kebutuhan P} \\ &= 22,04 \text{ m}^3/\text{hari} \times 12,07 \text{ mg/L} \\ &= 0,27 \text{ kg/hari} \end{aligned}$$

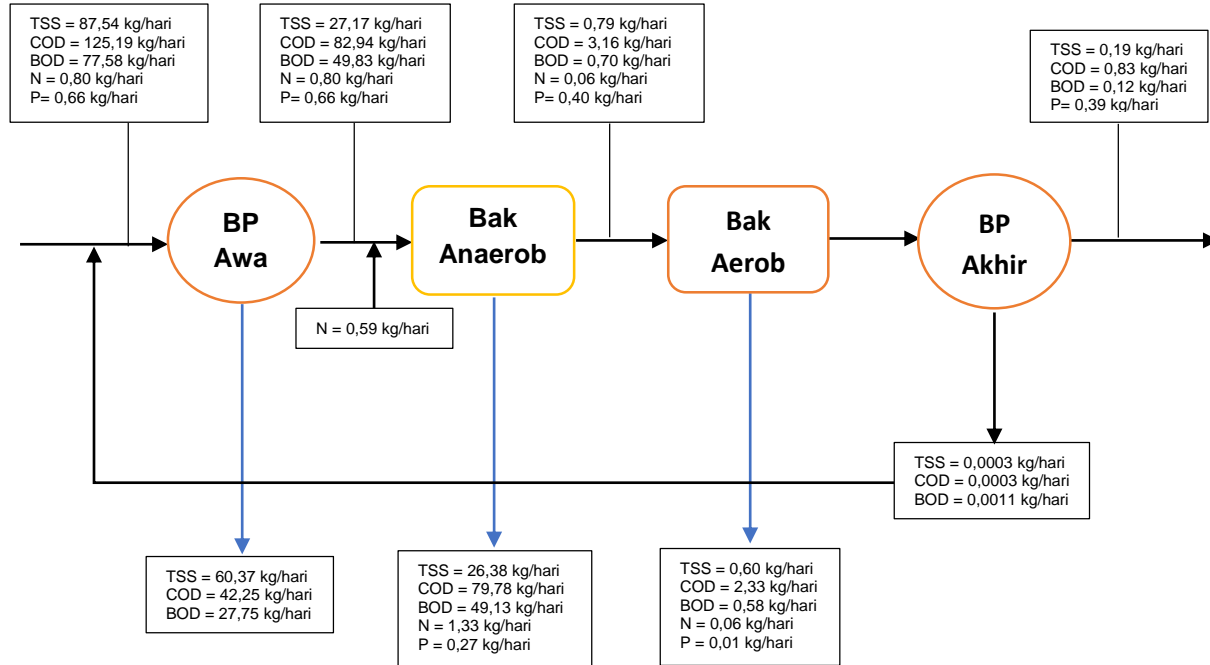
$$\begin{aligned} \text{Massa P out} &= \text{Massa P in} - \text{Massa P dibutuhkan} \\ &= 0,66 \text{ kg/hari} - 0,27 \text{ kg/hari} \\ &= 0,40 \text{ kg/hari} \end{aligned}$$

Bak Aerob

$$\begin{aligned} Q \text{ in} &= 22,04 \text{ m}^3/\text{hari} \\ [\text{TSS in}] &= 35,90 \text{ mg/L} \\ [\text{COD in}] &= 143,40 \text{ mg/L} \\ [\text{BOD in}] &= 31,79 \text{ mg/L} \\ [\text{P in}] &= 17,95 \text{ mg/L} \\ \text{TSS removal} &= 76,34\% \\ \text{COD removal} &= 73,81\% \\ \text{BOD removal} &= 82,80\% \\ \text{Kebutuhan N} &= 2,63 \text{ mg/L} \\ \text{Kebutuhan P} &= 0,26 \text{ mg/L} \\ \text{Massa TSS in} &= Q \text{ in} \times \text{TSS in} \\ &= 22,05 \text{ m}^3/\text{hari} \times 35,90 \text{ mg/L} \\ &= 0,79 \text{ kg/hari} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
\text{Massa COD in} &= Q_{\text{in}} \times \text{COD in} \\
&= 22,04 \text{ m}^3/\text{hari} \times 143,40 \text{ mg/L} \\
&= 3,16 \text{ kg/hari} \\
\text{Massa BOD in} &= Q_{\text{in}} \times \text{BOD in} \\
&= 22,04 \text{ m}^3/\text{hari} \times 31,79 \text{ mg/L} \\
&= 0,70 \text{ kg/hari} \\
\text{Massa N in} &= \text{Massa N out bak anaerob} \\
&= 0,06 \text{ kg/hari} \\
\text{Massa P in} &= Q \times P_{\text{in}} \\
&= 22,04 \text{ m}^3/\text{hari} \times 17,95 \text{ mg/L} \\
&= 0,40 \text{ kg/hari} \\
\text{Massa TSS out} &= \text{Massa TSS in} \times (1 - \text{TSS removal}) \\
&= 0,79 \text{ kg/hari} \times (1 - 76,34\%) \\
&= 0,19 \text{ kg/hari} \\
\text{Massa COD out} &= \text{Massa COD in} \times (1 - \text{COD removal}) \\
&= 3,16 \text{ kg/hari} \times (1 - 73,81\%) \\
&= 0,83 \text{ kg/hari} \\
\text{Massa BOD out} &= \text{Massa BOD in} \times (1 - \text{BOD removal}) \\
&= 0,70 \text{ kg/hari} \times (1 - 82,80\%) \\
&= 0,12 \text{ kg/hari} \\
\text{Massa TSS tersisihkan} &= \text{Massa TSS in} - \text{Massa TSS out} \\
&= 0,79 \text{ kg/hari} - 0,19 \text{ kg/hari} \\
&= 0,60 \text{ kg/hari} \\
\text{Massa COD tersisihkan} &= \text{Massa COD in} - \text{Massa COD out} \\
&= 3,16 \text{ kg/hari} - 0,83 \text{ kg/hari} \\
&= 2,33 \text{ kg/hari}
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
\text{Massa BOD tersisihkan} &= \text{Massa BOD in} - \text{Massa BOD out} \\
&= 0,70 \text{ kg/hari} - 0,12 \text{ kg/hari} \\
&= 0,58 \text{ kg/hari} \\
\text{Massa N dibutuhkan} &= Q_{\text{in}} \times \text{Kebutuhan N} \\
&= 22,04 \text{ m}^3/\text{hari} \times 2,63 \text{ mg/L} \\
&= 0,04 \text{ kg/hari} \\
\text{Massa N out} &= \text{Massa N in} - \text{Massa N dibutuhkan} \\
&= 0,06 \text{ kg/hari} - 0,06 \text{ kg/hari} \\
&= 0 \text{ kg/hari} \\
\text{Massa P dibutuhkan} &= Q_{\text{in}} \times \text{Kebutuhan P} \\
&= 22,04 \text{ m}^3/\text{hari} \times 0,26 \text{ mg/L} \\
&= 0,01 \text{ kg/hari} \\
\text{Massa P out} &= \text{Massa P in} - \text{Massa P dibutuhkan} \\
&= 0,40 \text{ kg/hari} - 0,01 \text{ kg/hari} \\
&= 0,39 \text{ kg/hari}
\end{aligned}$$



Gambar 4. 4 Kestimbangan Massa

Produksi Lumpur (Bak Anaerob)

$$\text{Synthesis yield in anaerob (Y)} = 0,06 \text{ g VSS/g COD}$$

$$\text{Massa COD tersisihkan} = 79,78 \text{ kg/hari}$$

$$\begin{aligned}\text{Massa COD}_{\text{VSS}} &= 1,42 \times Y \times \text{Massa COD tersisihkan} \\ &= 1,42 \times 0,06 \text{ gVSS/gCOD} \times 79,78 \text{ kg/hari} \\ &= 6,80 \text{ kg/hari}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\text{Massa COD}_{\text{TSS}} &= \text{Massa COD}_{\text{VSS}} / 0,85 \\ &= 6,80 \text{ kg/hari} / 0,85 \\ &= 8 \text{ kg/hari}\end{aligned}$$

$$\text{Specific gravity (Sg)} = 1,025$$

$$\rho_{\text{air}} = 1.000 \text{ kg/m}^3$$

$$\% \text{solid} = 5\%$$

$$\begin{aligned}\text{Debit lumpur} &= \text{Massa COD}_{\text{TSS}} / (\text{Sg} \times \rho_{\text{air}} \times 5\%) \\ &= 8 \text{ kg/hari} / (1,025 \times 1000 \times 5\%) \\ &= 0,16 \text{ m}^3/\text{hari}\end{aligned}$$

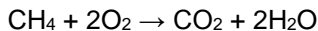
Produksi Biogas (Bak Anaerob)

$$\text{Massa COD tersisihkan} = 79,78 \text{ kg/hari}$$

$$\text{Massa COD}_{\text{VSS}} = 6,80 \text{ kg/hari}$$

$$\begin{aligned}\text{Massa COD metana} &= \text{Massa COD tersisihkan} - \text{Massa COD}_{\text{VSS}} \\ &= 79,78 \text{ kg/hari} - 6,80 \text{ kg/hari} \\ &= 72,98 \text{ kg/hari}\end{aligned}$$

COD metana adalah jumlah oksigen yang dibutuhkan untuk mengoksidasi metana menjadi karbon dioksida dan air.



Dari persamaan di atas, COD per mol metana adalah $2(32 \text{ gO}_2/\text{mol}) = 64 \text{ gO}_2/\text{mol}$.

$$\text{Suhu (T)} = 30^\circ\text{C} = 303,15^\circ\text{K}$$

$$\text{Konstanta gas (R)} = 0,082057 \text{ atm.L/mol.K}$$

$$\text{Mol gas (n)} = 1 \text{ mol}$$

$$\text{Tekanan gas (P)} = 1 \text{ atm}$$

$$\begin{aligned}\text{Volume gas (V}_{\text{gas}}) &= n \times R \times T / P \\ &= 1 \times 0,082057 \times 303,15 / 1 \\ &= 24,876 \text{ L/mol}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Produksi CH}_4 &= (V_{\text{gas}} / 64 \text{ gCOD/molCH}_4) \times \text{COD metana} \\ &= (24,876 \text{ L/mol} / 64 \text{ gCOD/molCH}_4) \times 72,98 \text{ kg/hari} \\ &= 28,37 \text{ m}^3/\text{hari} \end{aligned}$$

Diasumsikan sebesar 70% COD yang tersisihkan pada bak pengendap awal menjadi gas metana (CH₄) dan 50% dari gas metana tersebut larut dalam air (Sasse, 2009).

$$\begin{aligned} \text{Produksi biogas} &= \text{Produksi CH}_4 / 0,7 \times 0,5 \\ &= 28,37 \text{ m}^3/\text{hari} / 0,7 \times 0,5 \\ &= 20,26 \text{ m}^3/\text{hari} \end{aligned}$$

Gas yang dihasilkan dibuang melalui pipa vent yang dipasang pada *shaft* dan menempel pada dinding bangunan hotel. Pipa ini dipasang hingga mencapai lantai atap untuk menghindari kontak dengan pengunjung hotel dan tidak mengganggu kegiatan di hotel.

Kebutuhan Oksigen (Bak Aerob)

$$\text{Massa COD tersisihkan} = 2,33 \text{ kg/hari}$$

$$\text{Massa COD resirkulasi} = 0,0011 \text{ kg/hari}$$

$$\begin{aligned} \text{Massa COD teroksidasi} &= \text{Massa COD tersisihkan} - \\ &\quad \text{Massa COD resirkulasi} \\ &= 2,33 \text{ kg/hari} - 0,0011 \text{ kg/hari} \\ &= 2,33 \text{ kg/hari} \end{aligned}$$

$$\text{Massa jenis O}_2 (\rho) = 1,1725 \text{ kg/m}^3$$

$$\text{O}_2 \text{ dalam udara kering} = 23,2\%$$

$$\text{Asumsi O}_2 \text{ terlarut} = 5\%$$

$$\begin{aligned} \text{Kebutuhan udara} &= \text{COD teroksidasi} / (\rho \times 23,2\%) \\ \text{teoritis} &= 2,33 \text{ kg/hari} / (1,1725 \times 23,2\%) \\ &= 8,58 \text{ m}^3/\text{hari} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Kebutuhan udara} &= \text{Kebutuhan udara teoritis} / \text{O}_2 \text{ terlarut} \\ \text{aktual} &= 8,58 \text{ m}^3/\text{hari} / 5\% \\ &= 171,63 \text{ m}^3/\text{hari} \\ &= 119,19 \text{ L/menit} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Kebutuhan udara} &= 2 \times \text{Kebutuhan udara aktual} \\ \text{desain} &= 2 \times 119,19 \text{ L/menit} \\ &= 238,38 \text{ L/menit} \end{aligned}$$

Berdasarkan hasil perhitungan, maka aerator yang dapat digunakan memiliki spesifikasi:

Motor input : 252 Watt
Air flow rate : 250 L/min
Jumlah : 1 buah

4.7 Dimensi

Beberapa aspek dari hasil perhitungan dimensi harus memenuhi kriteria desain yang telah ada, sehingga menunjang proses pengolahan yang direncanakan.

4.7.1 Bak Pengendap Awal

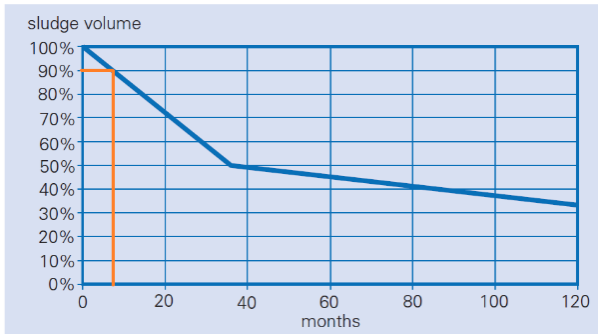
Direncanakan:

Q in = 22,04 m³/hari
Q resirkulasi = 0,01 m³/hari
Q = Q in + Q resirkulasi
= 22,04 m³/hari + 0,01 m³/hari
= 22,05 m³/hari
Waktu pengaliran = 24 jam
td settler = 2 jam
Lebar bak (L_{bak}) = 3 m
Tinggi air minimum inlet (H_{air}) = 2,2 m

Produksi Lumpur

Massa TSS tersisihkan = 56,33 kg/hari
Specific gravity (Sg) = 1,02
ρ_{air} = 1.000 kg/m³
%solid = 5%
Debit lumpur = Massa TSS tersisihkan / (Sg × ρ_{air} × 5%)
= 56,33 kg/hari / (1,02 × 1000 kg/m³ × 5%)
= 1,10 m³/hari
Interval pengurasan (I_P) = 6 bulan
Volume lumpur = Debit lumpur × I_P
= 1,10 m³/hari × 6 bulan
= 198,81 m³

Lumpur yang dihasilkan akan mengalami kompaksi seiring lamanya lumpur berada dalam bak pengendap awal. Prosentase lumpur yang berkurang dapat ditentukan berdasarkan grafik pada Gambar 4.5. Direncanakan interval pengurasan selama 6 bulan, sehingga prosentase volume lumpur yang berkurang sebesar 90%.



Gambar 4. 5 Reduksi Volume Lumpur Selama Penyimpanan

$$\begin{aligned}
 \text{Volume lumpur terkompaksi} &= \text{Volume lumpur} \times (1 - 90\%) \\
 &= 198,81 \text{ m}^3 \times (1 - 90\%) \\
 &= 19,88 \text{ m}^3
 \end{aligned}$$

Volume bak dihitung dua kali dari akumulasi volume lumpur untuk menghindari penurunan efisiensi penyisihan akibat akumulasi lumpur. Volume lumpur tergantung pada jumlah padatan yang dapat diendapkan pada influen dan waktu penyimpanan.

$$\begin{aligned}
 \text{Volume bak} &= 2 \times \text{Volume lumpur terkompaksi} \\
 &= 2 \times 19,88 \text{ m}^3 \\
 &= 39,76 \text{ m}^3
 \end{aligned}$$

Dimensi

Kompartemen 1

$$\text{Lebar bak (L}_{\text{bak}}) = 3 \text{ m}$$

$$\text{Tinggi air minimum (H}_{\text{air}}) = 2,2 \text{ m}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Panjang komp.1} &= \frac{2}{3} \times V / L_{\text{bak}} / H_{\text{air}} \\
 &= \frac{2}{3} \times 39,76 \text{ m}^3 / 3 \text{ m} / 2,2 \text{ m} \\
 &= 3 \text{ m}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Freeboard (Fb)} &= 0,3 \text{ m} \\
 \text{Tinggi bak (H}_{\text{bak}}) &= H_{\text{air}} + \text{Fb} \\
 &= 2,2 \text{ m} + 0,3 \text{ m} \\
 &= 2,5 \text{ m} \\
 \text{Luas permukaan bak} &= \text{Panjang komp.1} \times L_{\text{bak}} \\
 &= 3 \text{ m} \times 3 \text{ m} \\
 &= 9 \text{ m}^2 \\
 \text{Volume komp.1 (V}_1) &= \text{Panjang komp.1} \times L_{\text{bak}} \times H_{\text{air}} \\
 &= 3 \text{ m} \times 3 \text{ m} \times 2,2 \text{ m} \\
 &= 19,8 \text{ m}^3
 \end{aligned}$$

Kompartemen 2

$$\begin{aligned}
 \text{Panjang komp.2} &= \text{Panjang komp.1} / 2 \\
 &= 3 \text{ m} / 2 \text{ m} \\
 &= 1,5 \text{ m} \\
 \text{Lebar bak (L}_{\text{bak}}) &= 3 \text{ m} \\
 \text{Tinggi air minimum (H}_{\text{air}}) &= 2,5 \text{ m} \\
 \text{Freeboard (Fb)} &= 0,3 \text{ m} \\
 \text{Tinggi bak (H}_{\text{bak}}) &= H_{\text{air}} + \text{Fb} \\
 &= 2,2 \text{ m} + 0,3 \text{ m} \\
 &= 2,5 \text{ m} \\
 \text{Luas permukaan bak} &= \text{Panjang komp.2} \times L_{\text{bak}} \\
 &= 1,5 \text{ m} \times 3 \text{ m} \\
 &= 4,5 \text{ m}^2 \\
 \text{Volume komp.2 (V}_2) &= \text{Panjang komp.2} \times L_{\text{bak}} \times H_{\text{air}} \\
 &= 1,5 \text{ m} \times 3 \text{ m} \times 2,2 \text{ m} \\
 &= 9,9 \text{ m}^3
 \end{aligned}$$

Cek Kriteria Desain

$$\begin{aligned}
 \text{Massa COD in} &= 125,19 \text{ kg/hari} \\
 \text{Volume kompartemen} &= V_1 + V_2 \\
 \text{total (V}_{\text{komp.}}) &= 19,8 \text{ m}^3 + 9,9 \text{ m}^3 \\
 &= 29,7 \text{ m}^3
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Organic Loading Rate (OLR)} &= \text{Massa COD in} / V_{\text{komp.}} \\ &= 125,19 \text{ kg/hari} / 29,7 \text{ m}^3 \\ &= 4,22 \text{ kg.COD/m}^3 \cdot \text{hari (memenuhi)} \end{aligned}$$

Dimensi bak pengendap awal pada rangkaian biofilter anaerob-aerob dari hasil perhitungan adalah:

Kompartemen 1

$$\begin{aligned} \text{Panjang} &= 3 \text{ m} \\ \text{Lebar} &= 3 \text{ m} \\ \text{Tinggi} &= 2,5 \text{ m} \end{aligned}$$

Kompartemen 2

$$\begin{aligned} \text{Panjang} &= 1,5 \text{ m} \\ \text{Lebar} &= 3 \text{ m} \\ \text{Tinggi} &= 2,5 \text{ m} \end{aligned}$$

4.7.2 Bak Anaerob

Direncanakan:

$$\begin{aligned} Q &= 22,04 \text{ m}^3/\text{hari} \\ \text{Waktu pengaliran} &= 24 \text{ jam} \\ \text{HRT tiap bak} &= 28 \text{ jam} \\ \text{Jumlah bak direncanakan (n)} &= 4 \text{ buah} \\ \text{Interval pengurasan (I}_p\text{)} &= 12 \text{ bulan} \\ \text{Lebar bak (L}_{\text{bak}}\text{)} &= 2,8 \text{ m} \\ \text{Kedalaman air (H}_{\text{air}}\text{)} &= 2,2 \text{ m} \\ \text{Porositas media (P}_m\text{)} &= 98\% \end{aligned}$$

Dimensi

$$\begin{aligned} Q \text{ peak} &= Q / \text{Waktu pengaliran} \\ &= 22,04 \text{ m}^3/\text{hari} / 24 \text{ jam} \\ &= 0,92 \text{ m}^3/\text{jam} \\ \text{Kedalaman air (H}_{\text{air}}\text{)} &= 2,2 \text{ m} \\ \text{Tinggi air di atas media} &= 0,4 \text{ m} \\ \text{Jarak dibawah media} &= 0,35 \text{ m} \\ \text{Tebal plat penyangga} &= 0,05 \text{ m} \\ \text{Freeboard (Fb)} &= 0,3 \text{ m} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
\text{Tinggi bak (H}_{\text{bak}}) &= H_{\text{air}} + F_b \\
&= 2,2 + 0,3 \\
&= 2,5 \text{ m} \\
\text{Ketinggian media filter (H}_{\text{filter}}) &= H_{\text{air}} - 0,4 \text{ m} - 0,35 \text{ m} - 0,05 \text{ m} \\
&= 2,2 \text{ m} - 0,4 \text{ m} - 0,35 \text{ m} - 0,05 \text{ m} \\
&= 1,4 \text{ m} \\
\text{Volome bak (V}_{\text{bak}}) &= Q / (\text{HRT} / 24) \\
&= 22,04 \text{ m}^3/\text{hari} / (28 \text{ jam} / 24 \text{ jam}) \\
&= 18,89 \text{ m}^3 \\
\text{Panjang komp. (P}_{\text{komp.}}) &= V_{\text{bak}}/n/((H_{\text{air}} \times 0,25) + (L_{\text{bak}} \times H_{\text{air}} - H_{\text{filter}}(1 - P_m))) \\
&= 18,89 \text{ m}^3 / 4 / ((2,2 \text{ m} \times 0,25) + (2,8 \text{ m} \times \\
&\quad 2,2 \text{ m} - 1,4 \text{ m} (1 - 0,98))) \\
&= 0,71 \text{ m}
\end{aligned}$$

Cek Kriteria Desain

$$\begin{aligned}
\text{HRT} &= (H_{\text{air}} - H_{\text{filter}} \times (1 - P_m) \times P_{\text{komp.}} \times L_{\text{bak}} \times n) / (Q / 24) \\
&= (2,2 - 1,4 \times (1 - 0,98) \times 0,71 \times 2,8 \times 4) / (22,06 / 24) \\
&= 18,72 \text{ jam}
\end{aligned}$$

Karena HRT jauh di bawah HRT yang direncanakan, maka panjang tiap kompartemen diperpanjang menjadi 1,1 m.

$$P_{\text{komp.}} = 1,1 \text{ m}$$

$$\begin{aligned}
\text{HRT} &= (H_{\text{air}} - H_{\text{filter}} \times (1 - P_m) \times P_{\text{komp.}} \times L_{\text{bak}} \times n) / (Q / 24) \\
&= (2,2 - 1,4 \times (1 - 0,98) \times 1,1 \times 2,8 \times 4) / (22,04 / 24) \\
&= 29,14 \text{ jam (sesuai direncanakan)}
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
V_{\text{up}} &= Q_{\text{peak}} / (P_{\text{komp.}} \times L_{\text{bak}} \times P_m) \\
&= 0,92 \text{ m}^3/\text{jam} / (1,06 \text{ m} \times 2,8 \text{ m} \times 0,98) \\
&= 0,30 \text{ m/jam (memenuhi)}
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
\text{OLR} &= (\text{Massa COD in}) / (H_{\text{filter}} \times P_{\text{komp.}} \times L_{\text{bak}} \times n \times P_m) \\
&= (82,94 \text{ kg/hari}) / (1,4 \text{ m} \times 1,1 \text{ m} \times 2,8 \text{ m} \times 4 \times 0,98 \text{ m}) \\
&= 4,91 \text{ kg COD/m}^3.\text{hari (memenuhi)}
\end{aligned}$$

Dimensi tiap kompartemen bak anaerob pada rangkaian biofilter anaerob-aerob yang didapatkan dari hasil perhitungan adalah:

Panjang	= 1,1 m
Lebar	= 2,8 m
Tinggi	= 2,5 m

Bak Pembubuh Amoniak

Penambahan N dilakukan dengan menambahkan amoniak cair (NH_3) 99,5% pada bak anaerob kompartemen pertama.

$$\text{Kekurangan N} = 26,67 \text{ mg/L}$$

$$Q = 22,04 \text{ m}^3/\text{hari} = 0,26 \text{ L/s}$$

$$\text{Densitas amoniak } (\rho) = 0,73 \text{ kg/m}^3$$

$$\begin{aligned} \text{Kebutuhan amoniak} &= (1/99,5\%) \times \text{Total kekurangan N} \times Q \\ &= (1/99,5\%) \times 26,67 \text{ mg/L} \times 0,26 \text{ L/s} \\ &= 6,84 \text{ mg/s} \\ &= 6,84 \times 10^{-6} \text{ kg/s} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Debit pembubuhan } (Q_a) &= \text{Kebutuhan amoniak} / \rho \\ &= 6,84 \times 10^{-6} \text{ kg/s} / 0,73 \text{ kg/m}^3 \\ &= 9,37 \times 10^{-6} \text{ m}^3/\text{s} \\ &= 9,37 \text{ mL/s} \end{aligned}$$

Penambahan amoniak dalam bak pembubuh amoniak dilakukan setiap tiga hari.

$$\begin{aligned} \text{Volume bak } (V) &= Q_a \times 86.400 \text{ detik} \times 3 \text{ hari} \\ &= 9,37 \text{ mL/s} \times 86.400 \text{ detik} \times 3 \text{ hari} \\ &= 2.427,78 \text{ L} \\ &= 2,43 \text{ m}^3 \end{aligned}$$

Bak penambung amoniak direncanakan memiliki dimensi:

Panjang	= 1,5 m
Lebar	= 1,5 m
Tinggi	= 1,5 m

4.7.3 Bak Aerob

Direncanakan:

$$Q = 22,04 \text{ m}^3/\text{hari}$$

$$\text{Waktu pengaliran} = 24 \text{ jam}$$

HRT tiap bak	= 35 jam
Jumlah bak direncanakan (n)	= 1 buah
Lebar bak (L_{bak})	= 3 m
Kedalaman air (H_{air})	= 2,2 m
Porositas media (P_m)	= 98%

Dimensi

$$\begin{aligned}
 Q \text{ peak} &= Q / \text{Waktu pengaliran} \\
 &= 22,04 \text{ m}^3/\text{hari} / 24 \text{ jam} \\
 &= 0,92 \text{ m}^3/\text{jam}
 \end{aligned}$$

$$\text{Kedalaman air } (H_{air}) = 2,2 \text{ m}$$

$$\text{Tinggi air di atas media} = 0,4 \text{ m}$$

$$\text{Jarak dibawah media} = 0,75 \text{ m}$$

$$\text{Tebal plat penyangga} = 0,05 \text{ m}$$

$$\text{Freeboard } (F_b) = 0,3 \text{ m}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Tinggi bak } (H_{bak}) &= H_{air} + F_b \\
 &= 2,2 + 0,3 \\
 &= 2,5 \text{ m}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Ketinggian media filter } (H_{filter}) &= H_{air} - 0,4 - 0,75 - 0,05 \\
 &= 2,2 - 0,4 - 0,75 - 0,05 \\
 &= 1 \text{ m}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Volome bak } (V_{bak}) &= Q \times \text{HRT} / 24 \\
 &= 22,04 \times 35 / 24 \\
 &= 15,11 \text{ m}^3
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Panjang komp. } (P_{komp.}) &= V_{bak}/n/((H_{air} \times 0,25) + (L_{bak} \times H_{air} - H_{filter}(1 - P_m))) \\
 &= 15,11 / 1 / ((2,2 \times 0,25) + (3 \times 2,2 - 1 \\
 &\quad (1 - 0,98))) \\
 &= 2,12 \text{ m}
 \end{aligned}$$

Cek Kriteria Desain

$$\begin{aligned}
 \text{HRT} &= (H_{air} - H_{filter} \times (1 - P_m) \times P_{komp.} \times L_{bak} \times n) / (Q / 24) \\
 &= (2,2 - 1 \times (1 - 0,98) \times 2,12 \times 3 \times 1) / (22,04 / 24) \\
 &= 15,10 \text{ jam}
 \end{aligned}$$

Karena HRT berada di bawah HRT yang direncanakan, maka panjang tiap kompartemen diperpanjang menjadi 5 m.

$$\begin{aligned}
P_{\text{komp.}} &= 5 \text{ m} \\
\text{HRT} &= (H_{\text{air}} - H_{\text{filter}} \times (1 - P_m) \times P_{\text{komp.}} \times L_{\text{bak}} \times n) / (Q / 24) \\
&= (2,2 - 1 \times (1 - 0,98) \times 5 \times 3 \times 1) / (22,04 / 24) \\
&= 35,61 \text{ jam (sesuai direncanakan)} \\
V_{\text{up}} &= Q_{\text{peak}} / (P_{\text{komp.}} \times L_{\text{bak}} \times P_m) \\
&= 0,92 / (5 \times 3 \times 0,98) \\
&= 0,06 \text{ m/jam (memenuhi)} \\
\text{OLR} &= \text{Massa COD in} / (H_{\text{filter}} \times P_{\text{komp.}} \times L_{\text{bak}} \times n \times P_m) \\
&= 3,16 \text{ kg/hari} / (1 \text{ m} \times 5 \text{ m} \times 3 \text{ m} \times 1 \times 0,98) \\
&= 0,22 \text{ kg COD/m}^3 \cdot \text{hari (memenuhi)}
\end{aligned}$$

Dimensi bak aerob unit biofilter anaerob-aerob dari hasil perhitungan adalah:

$$\begin{aligned}
\text{Panjang} &= 5 \text{ m} \\
\text{Lebar} &= 3 \text{ m} \\
\text{Tinggi} &= 2,5 \text{ m}
\end{aligned}$$

Aerasi

Pada SRT antara 5 hingga 7 hari, rasio F/M berada antara 0,3 hingga 0,5 g BOD/g VSS.hari. Biomassa terdiri dari padatan inorganik dan fraksi VSS sekitar 0,85 dari total biomassa. Konsentrasi MLSS berada antara 1.200 hingga 4.000 mg/L (Tchobanoglous *et al.*, 2014).

$$\begin{aligned}
P_{\text{x VSS}} &= 1,19 \text{ kg VSS/hari} = 1.190 \text{ g VSS/hari} \\
\text{SRT} &= 1,46 \text{ hari} \\
\text{VSS/TSS} &= 0,85 \\
[\text{COD in}] (\text{So}) &= 143,40 \text{ mg/L} \\
\text{Panjang aerasi (P)} &= 0,5 \text{ m} \\
\text{Tinggi aerasi (H)} &= 0,75 \text{ m} \\
\text{Lebar aerasi (L)} &= 3 \text{ m} \\
\text{Volume aerasi (V)} &= P \times L \times H \\
&= 0,5 \times 3 \times 0,75 \\
&= 1,125 \text{ m}^3
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
P_{x\text{VSS}} &= X_{\text{VSS}} \times V / \text{SRT} \\
\text{MLVSS } (X_{\text{VSS}}) &= P_{x\text{VSS}} \times \text{SRT} / V \\
&= 1.190 \times 1,46 / 1,125 \\
&= 1.542,59 \text{ g VSS/m}^3 \\
&= 1.542,59 \text{ mg/L} \\
\text{MLSS } (X) &= X_{\text{VSS}} / 0,85 \\
&= 1.542,59 / 0,85 \\
&= 1.814,81 \text{ mg/L} \\
\text{Cek F/M} &= (Q \times \text{So}) / (V \times X_{\text{VSS}}) \\
&= (22,04 \times 143,40) / (1,125 \times 1.542,59) \\
&= 0,54 \text{ g COD/g VSS.hari}
\end{aligned}$$

4.7.4 Bak Pengendap Akhir

Direncanakan:

$$\begin{aligned}
Q &= 22,04 \text{ m}^3/\text{hari} = 0,92 \text{ m}^3/\text{jam} \\
\text{Waktu pengaliran} &= 24 \text{ jam} \\
\text{Waktu detensi } (t_d) &= 2,5 \text{ jam}
\end{aligned}$$

Dimensi

$$\begin{aligned}
\text{Lebar bak } (L_{\text{bak}}) &= 3 \text{ m} \\
\text{Kedalaman air } (H_{\text{air}}) &= 2,2 \text{ m} \\
\text{Freeboard } (F_b) &= 0,3 \text{ m} \\
\text{Tinggi bak } (H_{\text{bak}}) &= H_{\text{air}} + F_b \\
&= 2,2 \text{ m} + 0,3 \text{ m} \\
&= 2,5 \text{ m} \\
\text{Volume bak } (V_{\text{bak}}) &= Q \times t_d \\
&= 0,92 \text{ m}^3/\text{jam} \times 2,5 \text{ jam} \\
&= 2,30 \text{ m}^3 \\
\text{Luas permukaan } (A_s) &= V_{\text{bak}} / H_{\text{air}} \\
&= 2,30 \text{ m}^3 / 2,2 \text{ m} \\
&= 1,04 \text{ m}^2 \\
\text{Panjang bak } (P_{\text{bak}}) &= A_s / L_{\text{bak}} \\
&= 1,04 \text{ m}^2 / 3 \text{ m} \\
&= 0,35 \text{ m}
\end{aligned}$$

Cek Kriteria Desain

$$\begin{aligned} \text{Beban permukaan} &= Q / (L_{\text{bak}} \times P_{\text{bak}}) \\ &= 0,92 \text{ m}^3/\text{jam} / (3 \text{ m} \times 0,35 \text{ m}) \\ &= 0,88 \text{ m}^3/\text{m}^2.\text{jam} \text{ (memenuhi)} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Waktu retensi} &= (P_{\text{bak}} \times L_{\text{bak}} \times H_{\text{air}}) / Q \\ &= (0,35 \text{ m} \times 3 \text{ m} \times 2,2 \text{ m}) / 0,92 \text{ m}^3/\text{jam} \\ &= 2,51 \text{ jam} \text{ (memenuhi)} \end{aligned}$$

Dimensi bak pengendap akhir pada rangkaian biofilter anaerob-aerob adalah:

$$\begin{aligned} \text{Panjang} &= 0,35 \text{ m} \\ \text{Lebar} &= 3 \text{ m} \\ \text{Tinggi} &= 2,5 \text{ m} \end{aligned}$$

Dimensi IPAL keseluruhan dari hasil perhitungan dapat disederhanakan dalam Tabel 4.6.

Tabel 4. 6 Dimensi IPAL

Parameter	Bak Ekualisasi	Bak Pengendap Awal	Bak Anaerob	Bak Aerob	Bak Pengendap Akhir
Panjang (m)	1,5	4,5	4,4	5	0,35
Lebar (m)	1,5	3	2,8	3	3
Tinggi (m)	1,9	2,5	2,5	2,5	2,5

Sumber: Hasil perhitungan

Gambar perencanaan IPAL dapat dilihat pada Lampiran B.

4.8 Profil Hidrolis

Profil hidrolis menggambarkan perbedaan muka air dari inlet hingga outlet IPAL. Penurunan muka air disebabkan oleh beberapa hal, antara lain jatuhan, belokan, kecepatan aliran, dan media filter.

Aliran air mengalami belokan dan jatuhan saat menuju unit selanjutnya. Perhitungan kehilangan tekanan akibat jatuhan dan belokan didasarkan pada **persamaan Manning**, yaitu:

$$H_f = \left(\frac{v n}{R^{2/3}} \right)^2 \times L$$

Dimana:

- v : kecepatan aliran (m/s)
- n : koefisien kekasaran
- R : jari-jari hidrolis (m)
- L : panjang jatuhnya atau belokan (m)

Kehilangan tekanan akibat kecepatan aliran pada unit-unit IPAL ditentukan berdasarkan **persamaan Darcy-Weisbach**, yaitu:

$$H_f = f \times \frac{L}{4R} \times \frac{v^2}{2g}$$

$$f = 1,5 \times (0,01989 + 0,0005078 / 4R)$$

Dimana:

- L : panjang bangunan (m)
- R : jari-jari hidrolis (m)
- v : kecepatan aliran (m/s)
- g : percepatan gravitasi (m/s²)

Sedangkan kehilangan tekanan dalam media filter sarang tawon ditentukan berdasarkan **persamaan Rose** sebagai berikut:

$$H_f = 1,067 \times \frac{C_D \times L \times v^2}{\psi \times d \times e^4 \times g}$$

$$N_{Re} = \frac{\psi \rho d v}{\mu}$$

$$\text{Untuk } N_{Re} < 1 \quad : C_D = \frac{24}{N_{Re}}$$

$$\text{Untuk } 1 < N_{Re} < 10^4 \quad : C_D = \frac{24}{N_{Re}} + \frac{3}{\sqrt{N_{Re}}} + 0,34$$

$$\text{Untuk } N_{Re} > 10^4 \quad : C_D = 0,4$$

Dimana:

- L : kedalaman filter (m)
- e : porositas media
- v : kecepatan filtrasi (m/s)
- g : percepatan gravitasi (m/s²)
- d : ukuran rongga media (m)
- ψ : faktor bentuk
- μ : viskositas dinamis (kg/m.s)
- ρ : massa jenis (kg/m³)

4.8.1 Bak Pengendap Awal

Kompartemen 1

Headloss kecepatan

$$\begin{aligned}\text{Panjang (b)} &= 3 \text{ m} \\ \text{Tinggi (y)} &= 2,2 \text{ m} \\ \text{Kecepatan aliran (v)} &= 0,1 \text{ m/s} \\ \text{Percepatan gravitasi (g)} &= 9,8 \text{ m/s}^2 \\ \text{Jari-jari hidrolis (R)} &= (b \times y) / (b + 2y) \\ &= (3 \times 2,2) / (3 + (2 \times 2,2)) \\ &= 0,892 \text{ m} \\ \text{Koefisien kekasaran (f)} &= 1,5 \times (0,01989 + 0,0005078 / 4R) \\ &= 1,5 \times (0,01989 + 0,0005078 / 4 (0,892)) \\ &= 0,03 \text{ m} \\ \text{Panjang aliran (L)} &= 3 \text{ m} \\ \text{Headloss (Hf)} &= f \times \frac{L}{4R} \times \frac{v^2}{2g} \\ &= 0,03 \times \frac{3}{4(0,892)} \times \frac{(0,1)^2}{2(9,8)} \\ &= 0,0000129 \text{ m}\end{aligned}$$

Kompartemen 2

Headloss jatuhan

$$\begin{aligned}\text{Lebar (b)} &= 3 \text{ m} \\ \text{Tinggi (y)} &= 2,2 \text{ m} \\ \text{Tinggi sekat (L)} &= 2,2 \text{ m} \\ \text{Koefisien kekasaran fiber} &= 0,009 \\ \text{Kecepatan aliran (v)} &= 0,1 \text{ m/s} \\ \text{Percepatan gravitasi (g)} &= 9,8 \text{ m/s}^2 \\ \text{Jari-jari hidrolis (R)} &= (b \times y) / (b + 2y) \\ &= (3 \times 2,2) / (3 + (2 \times 2,2)) \\ &= 0,892 \text{ m} \\ \text{Headloss (Hf)} &= \left(\frac{v n}{R^{2/3}} \right)^2 \times L \\ &= \left(\frac{0,1 \times 0,009}{(0,892)^{2/3}} \right)^2 \times 2,2 \\ &= 0,0000021 \text{ m}\end{aligned}$$

Headloss kecepatan

$$\begin{aligned}\text{Panjang (b)} &= 1,5 \text{ m} \\ \text{Tinggi (y)} &= 2,2 \text{ m} \\ \text{Jari-jari hidrolis (R)} &= (b \times y) / (b + 2y) \\ &= (1,5 \times 2,2) / (1,5 + (2 \times 2,2)) \\ &= 0,559 \text{ m} \\ \text{Koefisien kekasaran (f)} &= 1,5 \times (0,01989 + 0,0005078 / 4R) \\ &= 1,5 \times (0,01989 + 0,0005078 / 4 (0,559)) \\ &= 0,03 \text{ m} \\ \text{Panjang aliran (L)} &= 1,5 \text{ m} \\ \text{Kecepatan aliran (v)} &= 0,1 \text{ m/s} \\ \text{Headloss (Hf)} &= f \times \frac{L}{4R} \times \frac{v^2}{2g} \\ &= 0,03 \times \frac{1,5}{4(0,559)} \times \frac{(0,1)^2}{2(9,8)} \\ &= 0,0000103 \text{ m}\end{aligned}$$

Headloss belokan

$$\begin{aligned}\text{Panjang belokan (L)} &= 2,8 \text{ m} \\ \text{Jari-jari hidrolis (R)} &= 0,559 \text{ m} \\ \text{Kecepatan aliran (v)} &= 0,1 \text{ m/s} \\ \text{Headloss (Hf)} &= \left(\frac{v n}{R^{2/3}} \right)^2 \times L \\ &= \left(\frac{0,1 \times 0,009}{(0,559)^{2/3}} \right)^2 \times 2,8 \\ &= 0,0000049 \text{ m}\end{aligned}$$

4.8.2 Bak Anaerob

Headloss jatuhan

$$\begin{aligned}\text{Panjang baffle (b)} &= 0,15 \text{ m} \\ \text{Tinggi (y)} &= 2,2 \text{ m} \\ \text{Tinggi sekat (L)} &= 2,2 \text{ m} \\ \text{Koefisien kekasaran fiber (n)} &= 0,009 \\ \text{Kecepatan aliran (v)} &= 0,1 \text{ m/s} \\ \text{Percepatan gravitasi (g)} &= 9,8 \text{ m/s}^2\end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Jari-jari hidrolis (R)} &= (b \times y) / (b + 2y) \\ &= (0,15 \times 2,2) / (0,15 + (2 \times 2,2)) \\ &= 0,073 \text{ m} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Headloss (Hf)} &= \left(\frac{v n}{R^{2/3}} \right)^2 \times L \\ &= \left(\frac{0,1 \times 0,009}{(0,073)^{2/3}} \right)^2 \times 2,2 \\ &= 0,0000589 \text{ m} \end{aligned}$$

Headloss kecepatan

$$\text{Lebar (b)} = 3 \text{ m}$$

$$\text{Tinggi (y)} = 2,2 \text{ m}$$

$$\begin{aligned} \text{Jari-jari hidrolis (R)} &= (b \times y) / (b + 2y) \\ &= (3 \times 2,2) / (3 + (2 \times 2,2)) \\ &= 0,892 \text{ m} \end{aligned}$$

$$\text{Panjang aliran (L)} = 3 \text{ m}$$

$$\begin{aligned} \text{Koefisien kekasaran (f)} &= 1,5 \times (0,01989 + 0,0005078 / 4R) \\ &= 1,5 \times (0,01989 + 0,0005078 / 4 (0,892)) \\ &= 0,03 \text{ m} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Headloss (Hf)} &= f \times \frac{L}{4R} \times \frac{v^2}{2g} \\ &= 0,03 \times \frac{3}{4(0,892)} \times \frac{(0,1)^2}{2(9,8)} \\ &= 0,0000129 \text{ m} \end{aligned}$$

Headloss media filter

$$Q = 22,06 \text{ m}^3/\text{hari} = 0,000255 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$\text{Kedalaman media (L)} = 1,4 \text{ m}$$

$$\text{Ukuran rongga (d)} = 0,02 \text{ m}$$

$$\text{Faktor bentuk media } (\psi) = 0,78$$

$$\text{Porositas media (e)} = 0,98$$

$$\text{Viskositas kinematis } (\mu) = 8,7 \times 10^{-7} \text{ kg/m.s}$$

$$\text{Massa jenis } (\rho) = 0,9963 \text{ kg/m}^3$$

$$\begin{aligned}
\text{Kecepatan filtrasi (v)} &= V_{up} \\
&= 0,00008 \text{ m/s} \\
N_{Re} &= \frac{\Psi \rho d v}{\mu} \\
&= \frac{0,78 \times 0,9963 \times 0,02 \times 0,00008}{0,00000087} \\
&= 1,511 \\
C_D &= \frac{24}{N_{Re}} + \frac{3}{\sqrt{N_{Re}}} + 0,34 \\
&= \frac{24}{1,511} + \frac{3}{\sqrt{1,511}} + 0,34 \\
&= 18,662 \\
\text{Headloss (Hf)} &= 1,067 \times \frac{C_D \times L \times v^2}{\Psi \times d \times e^4 \times g} \\
&= 1,067 \times \frac{18,662 \times 1,4 \times (0,00008)^2}{0,78 \times 0,02 \times (0,98)^4 \times 9,8} \\
&= 0,0000014 \text{ m}
\end{aligned}$$

Headloss kecepatan

$$\begin{aligned}
\text{Lebar (b)} &= 3 \text{ m} \\
\text{Tinggi (y)} &= 2,2 \text{ m} \\
\text{Jari-jari hidrolis (R)} &= (b \times y) / (b + 2y) \\
&= (3 \times 2,2) / (3 + (2 \times 2,2)) \\
&= 0,892 \text{ m} \\
\text{Panjang aliran (L)} &= 2,8 \text{ m} \\
\text{Kecepatan aliran (v)} &= 0,1 \text{ m/s} \\
\text{Koefisien kekasaran (f)} &= 1,5 \times (0,01989 + 0,0005078 / 4R) \\
&= 1,5 \times (0,01989 + 0,0005078 / 4 (0,892)) \\
&= 0,03 \text{ m} \\
\text{Headloss (Hf)} &= f \times \frac{L}{4R} \times \frac{v^2}{2g} \\
&= 0,03 \times \frac{2,8}{4(0,892)} \times \frac{(0,1)^2}{2(9,8)} \\
&= 0,0000120 \text{ m}
\end{aligned}$$

Headloss belokan

Panjang belokan (L) = 2,6 m

Jari-jari hidrolis (R) = 0,892 m

Kecepatan aliran (v) = 0,1 m/s

$$\begin{aligned} \text{Headloss (Hf)} &= \left(\frac{v n}{R^{2/3}} \right)^2 \times L \\ &= \left(\frac{0,1 \times 0,009}{(0,892)^{2/3}} \right)^2 \times 2,6 \\ &= 0,0000025 \text{ m} \end{aligned}$$

Terdapat empat kompartemen bak anaerob yang memiliki ukuran yang sama. Sehingga perhitungan headloss tiga kompartemen yang lain sama dengan perhitungan perhitungan di atas.

4.8.3 Bak Aerob

Headloss jatuhan

Panjang baffle (b) = 0,15 m

Tinggi (y) = 2,2 m

Tinggi sekat (L) = 2,2 m

Koefisien kekasaran fiber (n) = 0,009

Kecepatan aliran (v) = 0,1 m/s

Percepatan gravitasi (g) = 9,8 m/s²

$$\begin{aligned} \text{Jari-jari hidrolis (R)} &= (b \times y) / (b + 2y) \\ &= (0,15 \times 2,2) / (0,15 + (2 \times 2,2)) \\ &= 0,073 \text{ m} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Headloss (Hf)} &= \left(\frac{v n}{R^{2/3}} \right)^2 \times L \\ &= \left(\frac{0,1 \times 0,009}{(0,073)^{2/3}} \right)^2 \times 2,2 \\ &= 0,0000589 \text{ m} \end{aligned}$$

Headloss kecepatan

Panjang (b) = 5,5 m

Tinggi (y) = 2,2 m

$$\begin{aligned} \text{Jari-jari hidrolis (R)} &= (b \times y) / (b + 2y) \\ &= (5,5 \times 2,2) / (5,5 + (2 \times 2,2)) \\ &= 1,222 \text{ m} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
\text{Panjang aliran (L)} &= 5,5 \text{ m} \\
\text{Kecepatan aliran (v)} &= 1 \text{ m/s} \\
\text{Koefisien kekasaran (f)} &= 1,5 \times (0,01989 + 0,0005078 / 4R) \\
&= 1,5 \times (0,01989 + 0,0005078 / 4 (1,222)) \\
&= 0,03 \text{ m} \\
\text{Headloss (Hf)} &= f \times \frac{L}{4R} \times \frac{v^2}{2g} \\
&= 0,03 \times \frac{5,5}{4(1,222)} \times \frac{(0,1)^2}{2(9,8)} \\
&= 0,0000172 \text{ m}
\end{aligned}$$

Headloss media filter

$$\begin{aligned}
Q &= 22,06 \text{ m}^3/\text{hari} = 0,000255 \text{ m}^3/\text{s} \\
\text{Kedalaman media (L)} &= 1 \text{ m} \\
\text{Ukuran rongga (d)} &= 0,02 \text{ m} \\
\text{Faktor bentuk media } (\psi) &= 0,78 \\
\text{Porositas media (e)} &= 0,98 \\
\text{Viskositas kinematis } (\mu) &= 8,7 \times 10^{-7} \text{ kg/m.s} \\
\text{Massa jenis } (\rho) &= 0,9963 \text{ kg/m}^3 \\
\text{Kecepatan filtrasi (v)} &= v_{up} \\
&= 0,00002 \text{ m/s} \\
N_{Re} &= \frac{\psi \rho d v}{\mu} \\
&= \frac{0,78 \times 0,9963 \times 0,02 \times 0,00002}{0,00000087} \\
&= 0,310 \\
C_D &= \frac{24}{N_{Re}} \\
&= \frac{24}{0,310} \\
&= 77,347 \\
\text{Headloss (Hf)} &= 1,067 \times \frac{C_D \times L \times v^2}{\psi \times d \times e^4 \times g} \\
&= 1,067 \times \frac{77,347 \times 1 \times (0,00002)^2}{0,78 \times 0,02 \times (0,98)^4 \times 9,8} \\
&= 0,0000002 \text{ m}
\end{aligned}$$

Headloss kecepatan

$$\begin{aligned}\text{Panjang (b)} &= 5 \text{ m} \\ \text{Tinggi (y)} &= 2,2 \text{ m} \\ \text{Jari-jari hidrolis (R)} &= (b \times y) / (b + 2y) \\ &= (5 \times 2,2) / (5 + (2 \times 2,2)) \\ &= 1,170 \text{ m} \\ \text{Panjang aliran (L)} &= 5 \text{ m} \\ \text{Kecepatan aliran (v)} &= 0,1 \text{ m/s} \\ \text{Koefisien kekasaran (f)} &= 1,5 \times (0,01989 + 0,0005078 / 4R) \\ &= 1,5 \times (0,01989 + 0,0005078 / 4 (1,170)) \\ &= 0,03 \text{ m} \\ \text{Headloss (Hf)} &= f \times \frac{L}{4R} \times \frac{v^2}{2g} \\ &= 0,03 \times \frac{5}{4(1,170)} \times \frac{(0,1)^2}{2(9,8)} \\ &= 0,0000163 \text{ m}\end{aligned}$$

4.8.4 Bak Pengendap Akhir

Headloss jatuhan

$$\begin{aligned}\text{Lebar (b)} &= 3 \text{ m} \\ \text{Tinggi (y)} &= 2,2 \text{ m} \\ \text{Tinggi sekat (L)} &= 2,2 \text{ m} \\ \text{Koefisien kekasaran fiber (n)} &= 0,009 \\ \text{Kecepatan aliran (v)} &= 0,1 \text{ m/s} \\ \text{Percepatan gravitasi (g)} &= 9,8 \text{ m/s}^2 \\ \text{Jari-jari hidrolis (R)} &= (b \times y) / (b + 2y) \\ &= (3 \times 2,2) / (3 + (2 \times 2,2)) \\ &= 0,892 \text{ m} \\ \text{Headloss (Hf)} &= \left(\frac{v \cdot n}{R^{2/3}} \right)^2 \times L \\ &= \left(\frac{0,1 \times 0,009}{(0,892)^{2/3}} \right)^2 \times 2,2 \\ &= 0,0000021 \text{ m}\end{aligned}$$

Headloss kecepatan

$$\text{Panjang (b)} = 0,35 \text{ m}$$

$$\text{Tinggi (y)} = 2,2 \text{ m}$$

$$\begin{aligned}\text{Jari-jari hidrolis (R)} &= (b \times y) / (b + 2y) \\ &= (0,35 \times 2,2) / (0,35 + (2 \times 2,2)) \\ &= 0,162 \text{ m}\end{aligned}$$

$$\text{Panjang aliran (L)} = 0,35 \text{ m}$$

$$\text{Kecepatan aliran (v)} = 0,1 \text{ m/s}$$

$$\begin{aligned}\text{Koefisien kekasaran (f)} &= 1,5 \times (0,01989 + 0,0005078 / 4R) \\ &= 1,5 \times (0,01989 + 0,0005078 / 4(0,162)) \\ &= 0,031 \text{ m}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\text{Headloss (Hf)} &= f \times \frac{L}{4R} \times \frac{v^2}{2g} \\ &= 0,031 \times \frac{0,35}{4(0,162)} \times \frac{(0,1)^2}{2(9,8)} \\ &= 0,000085 \text{ m}\end{aligned}$$

Hasil perhitungan headloss masing-masing unit dapat dilihat pada Tabel 4.7.

Tabel 4. 7 Profil Hidrolis Biofilter Anaerob-Aerob

Unit Bangunan	Jenis Headloss	Headloss (m)	Muka Air (m)
Bak Pengendap Awal			0,0
Kompartemen 1			0,0
	Hf kecepatan	0,0000129	-0,0000129
Kompartemen 2			-0,0000129
	Hf jatuhan	0,0000021	-0,0000150
	Hf kecepatan	0,0000103	-0,0000253
	Hf belokan	0,0000049	-0,0000302
Bak Anaerob			-0,0000302
Kompartemen 1	Hf jatuhan	0,0000589	-0,0000891
	Hf kecepatan	0,0000129	-0,0001020

	Hf media filter	0,0000014	-0,0001034
	Hf kecepatan	0,0000120	-0,0001155
	Hf belokan	0,0000025	-0,0001179
Kompartemen 2	Hf jatuhan	0,0000589	-0,0001768
	Hf kecepatan	0,0000129	-0,0001897
	Hf media filter	0,0000014	-0,0001911
	Hf kecepatan	0,0000120	-0,0002032
	Hf belokan	0,0000025	-0,0002056
Kompartemen 3	Hf jatuhan	0,0000589	-0,0002645
	Hf kecepatan	0,0000129	-0,0002774
	Hf media filter	0,0000014	-0,0002789
	Hf kecepatan	0,0000120	-0,0002909
	Hf belokan	0,0000025	-0,0002933
Kompartemen 4	Hf jatuhan	0,0000589	-0,0003523
	Hf kecepatan	0,0000129	-0,0003651
	Hf media filter	0,0000014	-0,0003666
	Hf kecepatan	0,0000120	-0,0003786
	Hf belokan	0,0000025	-0,0003810
Bak Aerob			-0,0003810
	Hf jatuhan	0,0000589	-0,0004400
	Hf kecepatan	0,0000180	-0,0004579
	Hf media filter	0,0000002	-0,0004581
	Hf kecepatan	0,0000163	-0,0004745
Bak Pengendap Akhir			-0,0004745
	Hf jatuhan	0,0000021	-0,0004765
	Hf kecepatan	0,0000085	-0,0004851
Outlet			-0,0004851

Sumber: Hasil Perhitungan

Gambar profil hidrolis dapat dilihat pada Lampiran B.

4.9 BOQ dan RAB IPAL

Perhitungan *Bill of Quantity* (BOQ) dan Rencana Anggaran Biaya (RAB) IPAL didasarkan pada gambar IPAL yang telah dirancang. Berikut adalah Harga Satuan Pokok Kegiatan (HSPK) IPAL yang digunakan.

Tabel 4. 8 HSPK IPAL

No.	Uraian Pekerjaan	Koefisien	Satuan	Harga Satuan (Rp)	Jumlah (Rp)
1	1 m² Pembersihan Lapangan "Ringan" dan Perataan				
	Upah				
	Mandor	0,025	oh	158.000	3.950
	Pekerja	0,05	oh	110.000	5.500
				Total	9.450
2	1 m³ Penggalan Tanah Biasa untuk Konstruksi				
	Upah				
	Mandor	0,025	oh	158.000	3.950
	Pembantu Tukang	0,75	oh	110.000	82.500
				Total	86.450
4	1 m³ Pengangkutan Tanah dari Lubang Galian Dalamnya Lebih Dari 1 m				
	Upah				
	Mandor	0,0075	oh	158.000	1.185
	Pembantu Tukang	0,3	oh	110.000	33.000
				Total	34.185
5	1 m³ Pengangkutan Tanah Sejauh 30 meter				
	Upah				
	Mandor	0,01	oh	158.000	1.580
	Pembantu Tukang	0,33	oh	110.000	36.300
				Total	37.880
8	1 m³ Pekerjaan Beton K-250				
	Upah				
	Mandor	0,083	oh	158.000	13.114
	Kepala Tukang Batu	0,028	oh	148.000	4.144
	Tukang Batu	0,275	oh	121.000	33.275

	Pembantu Tukang	1,65	oh	110.000	181.500
				Sub Jumlah	232.033
	<u>Bahan</u>				
	Semen PC 40 kg	9,6	zak	60.700	582.720
	Pasir Cor	0,4325	m ³	243.000	105.098
	Batu Pecah Mesin 1/2 cm	0,5468421	m ³	487.900	266.804
	Air kerja	215	liter	28	6.020
				Sub Jumlah	960.642
				Total	1.192.675
9	1 kg Pekerjaan Pembesian dengan Besi Beton (Polos/Ulir)				
	<u>Upah</u>				
	Mandor	0,0004	oh	158.000	63
	Kepala Tukang Batu	0,0007	oh	148.000	104
	Tukang Batu	0,007	oh	121.000	847
	Pembantu Tukang	0,007	oh	110.000	770
				Sub Jumlah	1.784
	<u>Bahan</u>				
	Besi Beton Polos	1,05	kg	12.500	13.125
	Kawat Beton	0,015	kg	25.500	383
				Sub Jumlah	13.508
				Total	15.291
10	1 m² Pekerjaan Bekisting Dinding				
	<u>Upah</u>				
	Mandor	0,033	oh	158.000	5.214
	Kepala Tukang Kayu	0,033	oh	148.000	4.884
	Tukang Kayu	0,33	oh	121.000	39.930
	Pembantu Tukang	0,66	oh	110.000	72.600
				Sub Jumlah	122.628

	Bahan				
	Paku Usuk	0,4	kg	19.800	7.920
	Plywood Uk. 122 x 244 x 9 mm	0,35	lembar	121.400	42.490
	Kayu Meranti Bekisting	0,03	m ³	3.350.400	100.512
	Kayu Meranti Balok 4/6, 5/7	0,02	m ³	4.711.500	94.230
	Minyak Bekisting	0,2	liter	29.600	592
				Sub Jumlah	245.744
				Total	368.372
11	1 m Pembuatan Rangka Fiber				
	Upah				
	Mandor	0,12	oh	158.000	18.960
	Kepala Tukang	0,1	oh	148.000	14.800
	Tukang	0,06	oh	121.000	7.260
	Pembantu Tukang	0,06	oh	110.000	6.600
				Sub Jumlah	47.620
	Bahan				
	Besi L 70 x 70 x 60 cm	1	m	67.500	67.500
				Sub Jumlah	128.980
				Total	176.600
12	1 m Perakitan Rangka Fiber				
	Upah				
	Mandor	0,04	oh	158.000	6.320
	Kepala Tukang	0,05	oh	148.000	7.400
	Tukang	0,06	oh	121.000	7.260
	Pembantu Tukang	0,06	oh	110.000	6.600
				Sub Jumlah	27.580

	<u>Bahan</u>				
	Solar	0,01	liter	5.150	52
	Minyak pelumas	0,001	liter	25.000	25
	Sewa Alat Bantu	3	set	1.100	3.300
				Sub Jumlah	3.377
				Total	30.957
13	1 m Pengelasan Rangka Fiber				
	<u>Upah</u>				
	Mandor	0,02	oh	158.000	3.160
	Kepala Tukang	0,02	oh	148.000	2.960
	Tukang	0,002	oh	121.000	242
	Pembantu Tukang	0,004	oh	110.000	440
				Sub Jumlah	6.802
	<u>Bahan</u>				
	Solar	0,03	liter	5.150	155
	Minyak pelumas	0,004	liter	25.000	100
	Elektrode Las	0,04	kg	38.000	1.520
				Sub Jumlah	1.775
				Total	8.577
14	1 m³ Pencetakan Fiber				
	<u>Upah</u>				
	Mandor	0,08	oh	158.000	12.640
	Kepala Tukang	0,07	oh	148.000	10.360
	Tukang	0,06	oh	121.000	7.260
	Pembantu Tukang	0,06	oh	110.000	6.600
				Sub Jumlah	36.860
	<u>Bahan</u>				
	Minyak resin	8	L	40.000	320.000
	Katalis	2	botol	12.000	24.000

	Talk	6	kg	10.000	60.000
	Mat	2	m ²	55.000	110.000
	Roving	2	m ²	36.000	72.000
	Teakwood	2	m ²	101.000	202.000
	Triplek	2	m ²	67.700	135.400
	Cat Plincoat	4	gr	50.000	200.000
				Sub Jumlah	1.123.400
				Total	1.160.260
15	Pemasangan Media Sarang Tawon				
	Upah				
	Mandor	0,005	oh	158.000	790
	Tukang	0,01	oh	121.000	1.210
				Sub Jumlah	2.000
	Bahan				
	Media Sarang Tawon	32,248	m ³	65.000	2.096.120
				Sub Jumlah	2.096.120
				Total	2.098.120
16	Pemasangan Pipa				
	Upah				
	Mandor	0,02	oh	158.000	3.160
	Tukang	0,08	oh	121.000	9.680
				Sub Jumlah	12.840
	Bahan				
	Pipa PVC 1"	10	m	19.230	192.300
	Pipa PVC 2"	30	m	46.240	1.387.200
	Pipa PVC 4"	1	m	91.960	91.960
	Pipa vent 1,5"	3	buah	31.550	94.650
	Tee	2	buah	16.600	33.200
	Ball valve	8	buah	105.000	840.000
	Elbow	5	buah	3.100	15.500
				Sub Jumlah	2.654.810
				Total	2.667.650

17	Pemasangan Aerator				
	<u>Upah</u>				
	Mandor	0,005	oh	158.000	790
	Tukang	0,01	oh	121.000	1.210
				Sub Jumlah	2.000
	<u>Bahan</u>				
	Aerator	1	buah	11.449.000	11.449.000
				Sub Jumlah	11.449.000
				Total	11.451.000
18	Pemasangan Pompa				
	<u>Upah</u>				
	Mandor	0,005	oh	158.000	790
	Tukang	0,01	oh	121.000	1.210
				Sub Jumlah	2.000
	<u>Bahan</u>				
	Submersible Pump	1	buah	1.299.000	1.299.000
	Pompa Lumpur	1	buah	2.999.000	2.999.000
				Sub Jumlah	4.298.000
				Total	4.300.000

Sumber: Hasil Perhitungan

Dalam perencanaan ini, unit bak ekualisasi di tanam di bawah tanah, sedangkan unit biofilter anaerob-aerob dibangun di atas tanah. Bak ekualisasi yang ditanam di bawah tanah akan memudahkan penyaluran air limbah menuju IPAL, karena tidak perlu ada pemompaan. Sedangkan unit biofilter anaerob-aerob yang berada di atas tanah akan memudahkan operasi dan perawatan karena mudah dijangkau.

Bak ekualisasi direncanakan menggunakan beton, sedangkan biofilter anaerob-aerob direncanakan menggunakan bahan fiber yang dilapisi beton cor. Tebal fiber yang digunakan adalah 5 cm. RAB IPAL dapat dilihat pada Tabel 4.9.

Tabel 4. 9 BOQ dan RAB IPAL

No.	Uraian Pekerjaan	Volume	Satuan	Harga Satuan (Rp)	Jumlah (Rp)
Pekerjaan Persiapan					
1	Pembersihan Lapangan	51	m ²	9.450	481.950
Sub Jumlah					481.950
Pekerjaan Tanah					
1	Penggalian Tanah	4,845	m ³	86.450	418.850
2	Pengangkutan Tanah dari Lubang Galian	4,845	m ³	34.185	165.626
3	Pengangkutan Tanah sejauh 30 m	4,845	m ³	37.880	183.529
Sub Jumlah					768.005
Pekerjaan Beton					
1	Pekerjaan Beton K-250	48,8	m ³	1.192.675	58.202.528
2	Pekerjaan Pembesian	48,8	m ³	15.291	746.215
3	Pekerjaan Bekisting Dinding	48,8	m ³	368.372	17.976.554
Sub Jumlah					76.925.297
Pekerjaan Fiber					
1	Pembuatan Rangka	122,2	m	176.600	21.580.520
2	Perakitan Rangka	122,2	m	30.957	3.782.884
3	Pengelasan Rangka	122,2	m	8.577	1.048.048
4	Pencetakan	123,74	m ³	1.160.260	143.570.572
Sub Jumlah					169.982.025
Finishing					
1	Pemasangan Media	1	set	2.098.120	2.098.120
2	Pemasangan Pipa	1	set	2.667.650	2.667.650

3	Pemasangan Aerator	1	set	11.451.000	11.451.000
4	Pemasangan Pompa	1	set	4.300.000	4.300.000
Sub Jumlah					20.516.770
TOTAL					268.674.048

Sumber: Hasil Perhitungan

Dari perhitungan pada Tabel 4.9 dapat diketahui biaya yang dibutuhkan untuk membangun IPAL yang direncanakan sebesar **Rp 268.674.048,00**.

Selain biaya konstruksi, dibutuhkan pula biaya operasional dan biaya perawatan (*operation and maintenance*) IPAL. Berikut hasil perhitungannya.

Tabel 4. 10 Biaya Operasional dan Perawatan IPAL

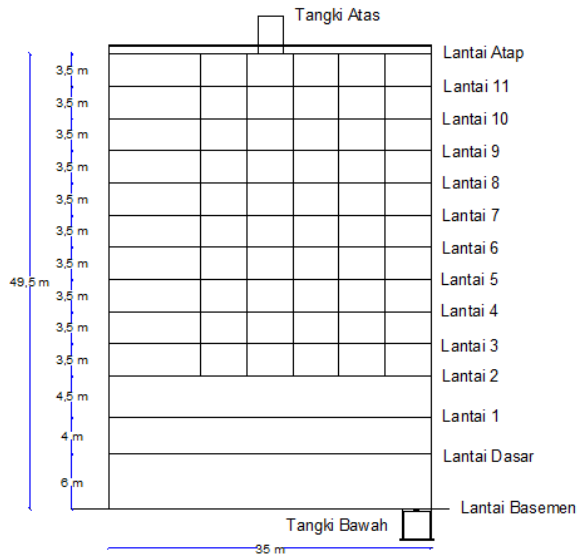
No.	Jenis Biaya	Jumlah	Satuan	Biaya Satuan (Rp)	Biaya (Rp)
Operasional					
1	Kebutuhan listrik	16.224	kWh	1.467	23.799.904
2	Penambahan Bakteri	12	kali	25.000	300.000
3	Operator	1	orang	1.000.000	12.000.000
Sub Jumlah					36.099.904
Perawatan					
1	Pengurasan lumpur/1 tahun	1	kali	500.000	500.000
2	Pembersihan media/1 tahun	1	kali	100.000	100.000
3	Perbaikan pompa dan aerator/1 thn	1	kali	150.000	150.000
4	Uji kualitas effluen/1 bulan	12	kali	350.000	4.200.000
Sub Jumlah					4.950.000
Biaya per Tahun					41.049.904
Biaya per Bulan					3.420.825

Sumber: Hasil Perhitungan

Dari hasil perhitungan pada Tabel 4.10 dapat diketahui biaya operasional dan perawatan IPAL sebesar **Rp 3.420.825,00 per bulan**.

4.10 Perencanaan Sistem Plumbing

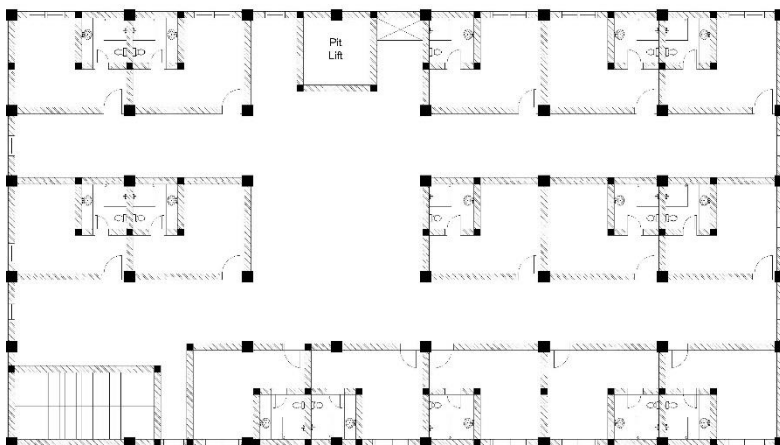
Bangunan hotel yang direncanakan memiliki 11 lantai dengan jumlah kamar 150 kamar (jumlah kamar paling banyak untuk hotel budget). Semua kamar merupakan tipe kamar standar dengan luas 20 m². Lantai 1 dipergunakan untuk *lobby* dan resepsionis. 10 lantai lainnya (lantai 2 hingga lantai 11) dipergunakan untuk kamar hotel dimana terdapat 15 kamar tipe standar di setiap lantainya.



Gambar 4. 6 Sketsa Bangunan Hotel
Sumber: Hasil Perencanaan

Efluen hasil pengolahan IPAL digunakan kembali sebagai air untuk *toilet flushing* dimana jenis toilet yang digunakan adalah katup gelontor. Efluen dialirkan dari bak pengendap akhir unit biofilter anaerob-aerob menuju tangki bawah yang ditanam di lantai basemen . Air ini kemudian dipompa melalui ruang pompa menuju tangki atas yang terletak di lantai atas. Dari tangki atas, air

didistribusikan ke setiap lantai, kemudian dialirkan ke masing-masing unit alat plambing (katup gelontor) di masing-masing kamar. Terdapat 15 kamar tipe standar di setiap lantai, sehingga jumlah total unit alat plambing adalah 150.



Gambar 4. 7 Denah Kamar Hotel
Sumber: Hasil Perencanaan

4.11 Kapasitas Tangki Bawah

Volume air di tangki bawah ditentukan oleh debit air limbah yang keluar dari biofilter anaerob-aerob. Ditetapkan pemompaan dilakukan satu kali sehari, yaitu pada pukul 04.00 WIB dimana pengunjung hotel banyak menggunakan toilet. Sehingga tangki bawah akan menampung air limbah selama 24 jam.

Perhitungan

$$\begin{aligned}
 Q_{\text{out}} &= 22,04 \text{ m}^3/\text{hari} = 0,92 \text{ m}^3/\text{jam} \\
 T_d &= 24 \text{ jam} \\
 \text{Volume} &= Q_{\text{out}} \times t_d \\
 &= 0,92 \times 24 \\
 &= 22,04 \text{ m}^3 \\
 H_{\text{air}} &= 2,5 \text{ m} \\
 \text{Freeboard (fb)} &= 0,3 \text{ m}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
\text{Tinggi} &= H_{\text{air}} + f_b \\
&= 2,5 + 0,3 \\
&= 2,8 \text{ m} \\
\text{Lebar} &= 3 \text{ m} \\
\text{Panjang} &= \text{Volume} / (H_{\text{air}} \times \text{Lebar}) \\
&= 22,038 / (2,5 \times 3) \\
&= 3 \text{ m}
\end{aligned}$$

Dimensi tangki bawah dari hasil perhitungan adalah:

$$\begin{aligned}
\text{Panjang} &= 3 \text{ m} \\
\text{Lebar} &= 3 \text{ m} \\
\text{Tinggi} &= 2,8 \text{ m}
\end{aligned}$$

4.12 Kapasitas Tangki Atas

Tangki atas diletakkan di lantai atap bangunan hotel. Air yang ditampung tangki atas sama dengan volume air yang dipompakan dari tangki bawah.

Perhitungan

$$\begin{aligned}
Q \text{ air} &= 22,04 \text{ m}^3/\text{hari} = 0,918 \text{ m}^3/\text{jam} \\
\text{Volume tangki} &= Q \text{ air} \times 24 \text{ jam} \\
&= 0,918 \times 24 \\
&= 22,038 \text{ m}^3 \\
&= 22.038 \text{ L}
\end{aligned}$$

Tangki atas menggunakan satu buah tangki silinder yang berkapasitas 22.500 L. Tangki silinder memiliki spesifikasi:

$$\begin{aligned}
\text{Kapasitas} &: 22.500 \text{ liter} \\
\text{Diameter} &: 2,77 \text{ m} \\
\text{Tinggi keseluruhan} &: 4,1 \text{ m}
\end{aligned}$$

4.13 Dimensi Pipa

Dalam perencanaan ini, pipa dibedakan menjadi pipa transmisi, pipa tegak dan pipa distribusi air. Beberapa macam peralatan plambing tidak dapat berfungsi dengan baik kalau tekanan airnya kurang dari batas minimum. Di lain pihak, kecepatan yang terlampau rendah ternyata dapat menimbulkan efek kurng baik dari segi korosi, pengendapan kotoran, ataupun kualitas air. Biasanya digunakan standar kecepatan sebesar 0,9

sampai 1,2 m/detik, dan batas minimumnya berkisar antara 1,5 sampai 2,0 m/detik.

4.13.1 Dimensi Pipa Transmisi

Pipa transmisi merupakan pipa yang digunakan untuk mengalirkan air dari tangki bawah ke tangki atas. Dimensi pipa didapatkan dengan menentukan debit pengaliran dari tangki bawah ke tangki atas. Isometri pipa transmisi dapat dilihat pada Lampiran C.

Perhitungan

$$\begin{aligned}
 \text{Kecepatan (v)} &= 2 \text{ m/s} \\
 \text{Volume tangki atas (V)} &= 22,04 \text{ m}^3 \\
 \text{Waktu pemompaan (t)} &= 25 \text{ menit} = 1.500 \text{ detik} \\
 \text{Debit pengaliran (Q)} &= V / t \\
 &= 22,04 / 1.500 \\
 &= 0,015 \text{ m}^3/\text{s} \\
 \text{Luas penampang} &= Q / v \\
 \text{Pipa (A)} &= 0,015 / 2 \\
 &= 0,007 \text{ m}^2 \\
 \text{Diameter pipa (D)} &= \sqrt{\frac{4 \times A}{\pi}} \\
 &= \sqrt{\frac{4 \times 0,007}{3,14}} \\
 &= 0,0967 \text{ m} = 96,7 \text{ mm} = 3,8'' \\
 \text{D yang digunakan} &= 4'' = 0,101 \text{ m} \\
 \text{Cek kecepatan} &= Q / A \\
 &= 0,015 / (1/4 \pi D^2) \\
 &= 0,015 / (1/4 \times 3,14 \times 0,101^2) \\
 &= 1,813 \text{ m/s}
 \end{aligned}$$

Sehingga, dimensi pipa yang digunakan untuk mengalirkan air dari tangki bawah ke tangki atas adalah 4''.

Penggunaan Pompa

$$\text{Hf statis} = 57 \text{ m}$$

$$L_{\text{discharge}} = 75,89 \text{ m}$$

$$\text{Koefisien kekasaran (C)} = 130$$

$$\begin{aligned} \text{Hf mayor} &= \left(\frac{Q}{0,00155 \times C \times D^{2,63}} \right)^{1,85} \times L \\ &= \left(\frac{15}{0,00155 \times 130 \times (9,7)^{2,63}} \right)^{1,85} \times 75,89 \\ &= 3,396 \text{ m} \end{aligned}$$

$$K (90^\circ) = 0,5$$

$$\begin{aligned} \text{Hf} (90^\circ) &= 8 \times k \times v^2 / 2g \\ &= 8 \times 0,5 \times 1,813^2 / 2 (9,8) \\ &= 0,671 \text{ m} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Hf kecepatan} &= v^2 / 2g \\ &= 1,813^2 / 2(9,8) \\ &= 0,168 \text{ m} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Hf minor} &= \text{Hf} (90^\circ) + \text{Hf kecepatan} \\ &= 0,671 + 0,168 \\ &= 0,839 \text{ m} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Head pompa} &= \text{Hf statis} + \text{Hf mayor} + \text{Hf minor} \\ &= 57 + 3,396 + 0,839 \\ &= 61,234 \text{ m} \end{aligned}$$

Maka, pompa yang dapat memiliki spesifikasi sebagai berikut.

Head	: GRUNDFOS SP SERIES
Tipe	: SP 46-9 MS6
Motor output	: 15 kW

4.13.2 Dimensi Pipa Tegak

Pipa tegak merupakan pipa yang menyalurkan air dari tangki atas ke setiap lantai dalam bangunan hotel. Laju aliran untuk tangki gelontor berdasarkan Tabel 2.2 adalah 15 liter/menit. Beban UAP tangki gelontor adalah 3 (Tabel 2.3). Kehilangan tekanan minimum untuk tangki gelontor 0,7 m.

Contoh Perhitungan Pipa J-K

Pipa J-K mengalirkan air untuk 15 kamar di Lantai 1. Dari gambar isometri pada Lampiran C, maka dimensi pipa dapat dihitung sebagai berikut.

Beban UAP = 15 x beban UAP tangki gelontor
 = 15 x 3
 = 45
 Laju aliran (Q) = 15 x Laju aliran untuk tangki gelontor
 = 15 x 15
 = 225 liter/menit
 = 3,75 liter/detik
 C = 130 (pipa PVC)
 Panjang pipa (L) = 8,75 m
 Hf = 15 x Hf minimum
 = 15 x 0,7
 = 10,5 m

$$H_f = \left(\frac{Q}{0,00155 \times C \times D^{2,63}} \right)^{1,85} \times L$$
 10,5 = $\left(\frac{3,75}{0,00155 \times 130 \times (D)^{2,63}} \right)^{1,85} \times 8,75$
 D = 2,93 cm
 = 1,15"
 D di pasaran = 1,25"
 Hasil perhitungan untuk jalur-jalur pipa lain dapat dilihat pada Tabel 4.11.

Tabel 4. 11 Dimensi Pipa Tegak

Letak	Beban UAP	Q (L/menit)	Q (L/detik)	C	L (m)	Hf (m)	D (cm)	D (inch)	D di pasaran (inch)
J-K	45	225	3,75	130	3,5	10,5	2,43	0,95	1,25
I-J	90	450	7,50	130	3,5	21	2,74	1,08	1
H-I	135	675	11,25	130	3,5	31,5	2,94	1,16	1,25
G-H	180	900	15,00	130	3,5	42	3,09	1,22	1,25
F-G	225	1125	18,75	130	3,5	52,5	3,21	1,26	1,25
E-F	270	1350	22,50	130	3,5	63	3,32	1,31	1,5
D-E	315	1575	26,25	130	3,5	73,5	3,41	1,34	1,5
C-D	360	1800	30,00	130	3,5	84	3,49	1,37	1,5
B-C	405	2025	33,75	130	3,5	94,5	3,56	1,40	1,5
A-B	450	2250	37,50	130	8,75	105	4,38	1,72	2

Sumber: Hasil Perhitungan

Dimensi pipa yang digunakan adalah dimensi pipa terbesar, yaitu 2" untuk semua jalur pipa tegak.

4.13.3 Dimensi Pipa Distribusi Air

Pipa distribusi air merupakan pipa yang mengalirkan air dari pipa tegak menuju unit alat plambing, dalam hal ini adalah kloset tangki gelontor. Perhitungan dimensi pipanya sama dengan perhitungan untuk menghitung dimensi pipa tegak.

Contoh Perhitungan Pipa Ba-Ba1 di Lantai 16

Dari gambar isometri pada Lampiran C, maka dimensi pipa dapat dihitung sebagai berikut.

$$\text{Beban UAP} = 3$$

$$\begin{aligned} \text{Laju aliran (Q)} &= 15 \text{ liter/menit} \\ &= 0,25 \text{ liter/detik} \end{aligned}$$

$$C = 130 \text{ (pipa PVC)}$$

$$\text{Panjang pipa (L)} = 2,63 \text{ m}$$

$$H_f = 0,7 \text{ m}$$

$$H_f = \left(\frac{Q}{0,00155 \times C \times D^{2,63}} \right)^{1,85} \times L$$

$$0,7 = \left(\frac{0,25}{0,00155 \times 130 \times (D)^{2,63}} \right)^{1,85} \times 2,63$$

$$\begin{aligned} D &= 1,42 \text{ cm} \\ &= 0,56'' \end{aligned}$$

$$D \text{ di pasaran} = 0,5''$$

Hasil perhitungan untuk jalur-jalur pipa lain pada Lantai 16 dapat dilihat pada Tabel 4.12.

Tabel 4. 12 Dimensi Pipa Distribusi Air

Letak	Beban UAP	Q (L/menit)	Q (L/detik)	C	L (m)	Hf (m)	D (cm)	D (inch)	D di pasaran (inch)
Ba-Ba1	3	15	0,25	130	2,63	0,7	1,42	0,56	0,5
Bb1-Bb2	3	15	0,25	130	1,20	0,7	1,21	0,48	0,5
Bb1-Bb3	3	15	0,25	130	1,20	0,7	1,21	0,48	0,5

Bb-Bb1	6	30	0,50	130	1,43	1,4	1,42	0,56	0,5
Bd-Bd1	3	15	0,25	130	2,63	0,7	1,42	0,56	0,5
Bc-Bd	3	15	0,25	130	11,60	0,7	1,93	0,76	0,75
Bc1-Bc2	3	15	0,25	130	1,20	0,7	1,21	0,48	0,5
Bc1-Bc3	3	15	0,25	130	1,2	0,7	1,21	0,48	0,5
Bc-Bc1	6	30	0,50	130	1,43	1,4	1,42	0,56	0,5
B2-Bc	9	45	0,75	130	5,30	2,1	1,99	0,78	0,75
Bg1-Bg2	3	15	0,25	130	1,20	0,7	1,21	0,48	0,5
Bg1-Bg3	3	15	0,25	130	1,20	0,7	1,21	0,48	0,5
Bg-Bg1	6	30	0,50	130	2,70	1,4	1,62	0,64	0,5
Bf-Bg	6	30	0,50	130	6,05	1,4	1,91	0,75	1,25
Bf-Bf1	3	15	0,25	130	2,63	0,7	1,42	0,56	0,5
Be-Bf	9	45	0,75	130	11,60	2,1	2,34	0,92	1,25
Be1-Be2	3	15	0,25	130	1,20	0,7	1,21	0,48	0,5
Be1-Be3	3	15	0,25	130	1,20	0,7	1,21	0,48	0,5
Be-Be1	6	30	0,50	130	1,43	1,4	1,42	0,56	0,5
B2-Be	15	75	1,25	130	18,55	3,5	2,82	1,11	1,25
Bb-B2	24	120	2,00	130	13,75	5,6	2,88	1,13	1,25
Ba-Bb	33	165	2,75	130	11,60	7,7	2,94	1,16	1,25
B1-Ba	33	165	2,75	130	0,80	7,7	1,70	0,67	1,25
Bh1-Bh2	3	15	0,25	130	1,20	0,7	1,21	0,48	0,5
Bh1-Bh3	3	15	0,25	130	1,20	0,7	1,21	0,48	0,5
Bh-Bh1	6	30	0,50	130	1,43	1,4	1,42	0,56	0,5
Bi-Bh	6	30	0,50	130	19,05	1,4	2,42	0,95	1,25
Bi1-Bi2	3	15	0,25	130	1,20	0,7	1,21	0,48	0,5
Bi1-Bi3	3	15	0,25	130	1,20	0,7	1,21	0,48	0,5
Bi-Bi1	6	30	0,50	130	1,43	1,4	1,42	0,56	0,5
B1-Bi	12	60	1,00	130	14,00	2,8	2,56	1,01	1,25
B-B1	45	225	3,75	130	65,45	10,5	4,43	1,74	1

Sumber: Hasil Perhitungan

Perhitungan dimensi pipa untuk lantai-lantai yang lain sama. Sehingga dimensi pipa yang digunakan untuk pipa distribusi air adalah **0,5"** hingga **1,25"**.

4.14 BOQ dan RAB Plambing

Rencana Anggaran Biaya (RAB) disusun berdasarkan *Bill of Quantity (BOQ)* yang menunjukkan jumlah satuan dari peralatan atau assoris yang digunakan.

Total BOQ pipa yang digunakan dapat dilihat pada Tabel 4.13.

Tabel 4. 13 BOQ Pemasangan Pipa

Lantai	Dimensi Pipa (inch)					
	0,5	0,75	1	1,25	2	4
11	32,12 m	16,9 m	0,65 m	95,40 m		
10	32,12 m	16,9 m	0,65 m	95,40 m		
9	32,12 m	16,9 m	0,65 m	95,40 m		
8	32,12 m	16,9 m	0,65 m	95,40 m		
7	32,12 m	16,9 m	0,65 m	95,40 m		
6	32,12 m	16,9 m	0,65 m	95,40 m		
5	32,12 m	16,9 m	0,65 m	95,40 m		
4	32,12 m	16,9 m	0,65 m	95,40 m		
3	32,12 m	16,9 m	0,65 m	95,40 m		
2	32,12 m	16,9 m	0,65 m	95,40 m		
Pipa Tegak					40,25 m	
Pipa Transmisi						75,89 m
Pipa dari IPAL					16,78 m	
Panjang Total	321,19 m	169 m	6,55 m	954,04 m	57,03 m	75,89 m

Sumber: Hasil Perhitungan

Total RAB pemasangan pipa untuk sistem plambing dapat dilihat pada Tabel 4.14.

Tabel 4. 14 Rencana Anggaran Biaya Pemasangan Pipa Plambing

Material	Koefisien	Satuan	Harga Satuan (Rp)	Jumlah (Rp)
Pipa 0,5"	81	batang	21.100	1.709.100
Pipa 0,75"	43	batang	28.800	1.238.400
Pipa 1"	2	batang	39.300	78.600
Pipa 1,25"	239	batang	58.900	14.077.100
Pipa 2"	15	batang	86.500	1.297.500
Pipa 4"	19	batang	394.600	7.497.400
Tee 1,25" x 1"	1	box	8.600	8.600
Tee 1,25" x 0,5"	2	box	7.000	14.000
Tee 1,25" x 0,75"	1	box	7.300	7.300
Tee 0,75" x 0,5"	1	box	3.100	3.100
Tee 0,5" x 0,5"	1	box	2.200	2.200

Elbow 0,5"	2	box	1.700	3.400
Elbow 1,25"	1	box	6.100	6.100
Gate valve 1"	11	buah	17.350	190.850
Check valve 4"	1	buah	650.000	650.000
Total				26.783.650

Sumber: Hasil Perhitungan

Kemudian dihitung pula upah pekerja untuk pekerjaan pemasangan pipa. Berdasarkan HSPK Kota Surabaya 2016, upah pekerja untuk pemasangan per meter pipa adalah:

Mandor	= Rp 284,40
Kepala Tukang	= Rp 888,00
Tukang	= Rp 7.260,00
Pembantu Tukang	= Rp 3.960,00
Jumlah	= Rp 12.392,40

Total panjang pipa yang akan dipasang adalah 1.583,695 m.

Sehingga biaya yang dibutuhkan untuk pekerja adalah:

Biaya pekerja	= Rp 12.392,40 × 1.583,695
	= Rp 19.625.782

Sehingga total biaya yang dibutuhkan untuk pemasangan pipa plambing adalah:

Biaya total	= Rp 26.783.650 + Rp 19.625.782
	= Rp 46.409.432

Selain pemasangan pipa, dihitung pula BOQ dan RAB tangki atas dan tangki bawah. Sedangkan BOQ dan RAB untuk tangki bawah yang terbuat dari beton dihitung berdasarkan HSPK Kota Surabaya 2016. Hasil perhitungan dapat dilihat pada Tabel 4.15.

Tabel 4. 15 BOQ dan RAB Tangki Bawah

No.	Uraian Pekerjaan	Koefisien	Satuan	Harga Satuan (Rp)	Jumlah (Rp)
Pekerjaan Tanah					
1	Penggalian Tanah	46,21	m ³	86.450	3.994.682
2	Pengangkutan Tanah dari Lubang Galian	46,21	m ³	17.685	817.188
3	Pengangkutan Tanah sejauh 30 m	46,21	m ³	37.880	1.750.359

4	Penguruan Pasir (PADAT)	4,56	m ³	214.820	979.579
Sub Jumlah					7.541.808
Pekerjaan Beton					
1	Pekerjaan Beton K-250	11,81	m ³	1.192.675	14.083.104
2	Pekerjaan Pembesian	11,81	m ³	15.291	180.560
3	Pekerjaan Bekisting Dinding	11,81	m ³	368.372	4.349.737
Sub Jumlah					18.613.400
TOTAL					26.155.208

Sumber: Hasil Perhitungan

Biaya yang dibutuhkan untuk pemasangan pipa plambing sebesar **Rp 46.409.432,00**. Harga satu buah tangki atas yang berkapasitas 22.500 liter adalah **Rp 28.295.750,00**. Biaya yang dibutuhkan untuk konstruksi tangki bawah adalah **Rp 26.155.208,00**. Sehingga, total biaya yang diperlukan untuk konstruksi sistem plambing ini sebesar **Rp 112.912.751,00**.

Halaman ini sengaja dikosongkan

BAB 5

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Setelah dilakukan perhitungan perencanaan IPAL untuk hotel budget, maka didapatkan beberapa kesimpulan berupa:

1. Biofilter anaerob-aerob yang direncanakan memiliki efisiensi penyisihan TSS 98,77%; COD 99,34%; dan BOD 99,84%. Sehingga efluen IPAL memiliki konsentrasi TSS 48,76 mg/L; COD 37,56 mg/L; dan BOD 5,47 mg/L. Dimensi bangunan IPAL adalah 16,35 m × 3,8 m × 3 m. Luas lahan yang dibutuhkan sebesar 104 m².
2. Tangki bawah memiliki dimensi 3 m × 3 m × 2,8 m dan tangki atas menggunakan sebuah tangki plastik silinder berkapasitas 22.500 L. Pipa yang digunakan memiliki dimensi 0,75", 1", 2" dan 4".
3. Biaya yang dibutuhkan untuk konstruksi IPAL sebesar Rp 268.674.048,00. Biaya untuk operasional dan perawatan IPAL sebesar Rp 3.420.825,00 per bulan.
4. Biaya yang dibutuhkan untuk pembangunan sistem plambing efluen IPAL sebesar Rp 112.912.751,00.

5.2 Saran

Saran yang dapat diberikan untuk perancangan instalasi pengolahan air limbah hotel budget adalah:

1. Karakteristik air limbah diambil dari lebih dari satu hotel budget yang ada di Kota Surabaya
2. Merencanakan kemungkinan pemanfaatan efluen IPAL untuk kegiatan perhotelan yang lain
3. Merencanakan pemanfaatan biogas yang dihasilkan dari proses pengolahan

Halaman ini sengaja dikosongkan

DAFTAR PUSTAKA

- Anggraini, dkk. 2014. "Pengolahan Limbah Cair Tahu secara Anaerob menggunakan Sistem Batch". **Reka Lingkungan Jurnal Institut Teknologi Nasional** 1, 2
- Casey, T.J. 2006. **Unit Treatment Process in Water and Wastewater Engineering**. Blackrock: Aquavarra Research Limited
- Chernicharo, C. A. L. 2006. "Post-treatment Options for the Anaerobic Treatment of Domestic Wastewater". **Reviews in Environmental Science and Bio/Technology**, 5:73-92
- Elmitwalli, T.A. *et al.*, 2002. "Low Temperature Pre-treatment of Domestic Wastewater Sewage in an Anaerobic Hybrid or an Anaerobic Filter Reactor". **Bioresource Technology** 82:233-239
- Fitria, Y. 2008. **Pembuatan Pupuk Organik Cair dari Limbah Cair Industri Perikanan Menggunakan Asam Asetat dan EM₄ (Effective Microorganisme 4)**. Skripsi Program Studi Teknologi Hasil Perikanan Institut Pertanian Bogor.
- Hamid, A. dan Razif M. 2014. "Perbandingan Desain Ipal Proses Attach Growth Anaerobic Filter dengan Suspended Growth Anaerobic Baffled Reactor untuk Pusat Pertokoan di Kota Surabaya". **Jurnal Teknik POMITS** 3, 2 ISSN:2337-3539
- Hatijah, dkk. 2010. "Efektifitas Saringan Bifilter Anaerob dan Aerob dalam Menurunkan Kadar BOD₅, COD dan Nitrogen Total Limbah Cair Industri Karet". **Jurnal MKMI** 6, 4:215-221
- Herlambang, A. 2001. "Pengaruh Pemakaian Biofilter Struktur Sarang Tawon pada Pengolah Limbah Organik Sistem Kombine Anaerob-Aerob (Studi Kasus: Limbah Tahu dan Tempe)". **Jurnal Teknologi Lingkungan** 2, 1:28-36
- Indriyati. 2005. "Pengolahan Limbah Cair Organik Secara Biologi Menggunakan Reaktor Anaerobik Lekat Diam". **Pusat Pengkajian dan Penerapan Teknologi Lingkungan, BPPT JAI** 1, 3
- Kemenkes RI, 2011. **Pedoman Teknis Instalasi Pengolahan Air Limbah dengan Sistem Biofilter Anaerob Aerob pada Fasilitas Pelayanan Kesehatan**. Direktorat Jenderal Bina Upaya Kesehatan

- Mara, D. 2004. **Domestic Wastewater Treatment in Developing Countries**. London: Cronwell Press
- Martono, H. dkk. 2006. "Tingkat Efektivitas Instalasi Pengolahan Limbah Cair Hotel-Hotel di Yogyakarta". **Bul. Panel. Kesehatan** 34, 1:37-45
- Masduqi, A. dan Assomadi, A.F. 2016. **Operasi dan Proses Pengolahan Air**. Edisi Kedua. Surabaya: ITS Press
- Merino-Solis *et al.*, 2015. "The Effect of Hydraulic Retention Time on the Performance of an Ecological Wastewater Treatment System: An Anaerobic Filter with a Constructed Wetland". **Water** 7:1149-1163 ISSN: 2073-4441
- Mubin, dkk. 2016. "Perencanaan Sistem Pengolahan Air Limbah Domestik di Kelurahan Istiqlal Kota Manado". **Jurnal Teknik Sipil Statik** 4, 3: 211-223 ISSN: 2337-6732
- Noerlambang, S.M., dan Akeo M. 2000. **Perancangan dan Pemeliharaan Sistem Plambing**. Jakarta: P.T. Dainippon Gitakarya Printing
- Peng, *et al.*, 2015. "Improving Service Management in Budget Hotel". **International Journal of Hospitality Management** 49:139-148
- Peraturan Pemerintah Republik Indonesia Nomor 82 Tahun 2001 tentang Pengelolaan Kualitas Air dan Pengendalian Pencemaran Air.
- Ratnawati, R., dkk. 2014. "Desain Instalasi Pengolahan Air Limbah (IPAL) Biofilter untuk Mengolah Air Limbah Poliklinik UNIPA Surabaya". **Jurnal Teknik WAKTU** 12, 2 ISSN: 1412-1867
- Ridwan, A. 2014. **Studi Analisis Kebutuhan Air Sektor Nondomestik Kategori Hotel di Wilayah Kecamatan Ujung Pandang**. Tugas Akhir Departemen Sipil Fakultas Teknik Universitas Hassanuddin Makassar
- Said, N.I. 2000. "Teknologi Pengolahan Air Limbah dengan Proses Biofilm Tercelup". **Jurnal Teknologi Lingkungan** 1, 2:101-113
- Said, N.I. 2002. **Teknologi Pengolahan Limbah Cair dengan Proses Biologis** dalam Herlambang, Arie, dkk. **Teknologi Pengolahan Limbah Cair Industri**. Jakarta: Pusat Pengkajian dan Penerapan Teknologi Lingkungan BPPT dan Badan Pengendalian Dampak Lingkungan Daerah Pemerintah Kota Samarinda

- Said, N.I. 2006. "Paket Teknologi Pengolahan Air Limbah Rumah Sakit yang Murah dan Efisien". **Kelompok Teknologi Pengelolaan Air Bersih dan Limbah Cair, Pusat Pengkajian dan Penerapan Teknologi Lingkungan, BPPT. JAI 2, 1**
- Said, N.I. dan Firly. 2005. "Uji Performance Biofilter Anaerobik Unggun Tetap Menggunakan Media Biofilter Sarang Tawon untuk Pengolahan Air Limbah Rumah Potong Ayam". **Kelompok Teknologi Pengelolaan Air Bersih dan Limbah Cair, Pusat Pengkajian dan Penerapan Teknologi Lingkungan, BPPT. JAI 1, 3**
- Said, N.I. dan Ruliasih. 2005. "Tinjauan Aspek Teknis Pemilihan Media Biofilter untuk Pengolahan Air Limbah". **Kelompok Teknologi Pengelolaan Air Bersih dan Limbah Cair, Pusat Pengkajian dan Penerapan Teknologi Lingkungan, BPPT. JAI 1, 3**
- Salanto, F. 2015. "Research & Forecast Report Surabaya Hotel". **Colliers International**
- Salanto, F. 2016. "Half Year Report Surabaya Hotel". **Colliers International**
- Sasse, L. 2009. **Decentralised Wastewater Treatment System (DEWATS) and Sanitation in Developing Countries**. London: Water, Engineering and Development Centre (WEDC)
- Sato, A., dkk. 2015. "Pengolahan Limbah Tahu Secara Anaerobik-Aerobik Kontinyu". **Seminar Nasional Sains dan Teknologi Terapan III**. ISBN 978-602-98569-1-0
- Setiyono. 2009. "Desain Perencanaan Instalasi Pengolahan Air Limbah (IPAL) dan Re-use Air di Lingkungan Perhotelan". **Pusat Teknoloi Lingkungan, BPPT Lingkungan. JAI 5, 2**
- Siswanto, dkk. 2014. "Pengolahan Air Limbah Hotel dengan Metode Free Surface Constructed Wetland Menggunakan Tumbuhan Equisetum hymale". **Jurnal Teknobiologi 1 2: 37-45 ISSN: 2087-5428**
- SNI 6774:2008 tentang Tata Cara Perencanaan Unit Paket Instalasi Pengolahan Air
- Supriyatno, B. 2000. "Pengelolaan Air Limbah yang Berwawasan Lingkungan Suatu Strategi dan Langkah Penanganannya". **Jurnal Teknologi Lingkungan 1, 1:17-26**

- Tchobanoglous, G., *et al.*, 2003. **Wastewater Engineering Treatment and Reuse**. 4th Edition. New York: McGraw-Hill Book Co.
- Tchobanoglous, G., *et al.*, 2014. **Wastewater Engineering Treatment and Resource Recovery**. 5th Edition. New York: McGraw-Hill Education
- Tenon, D. 2015. Wastewater Treatment by Anaerobic Filter and Sand Filter: Hydraulic Loading Rates for Removing Organic Matter, Phosphorus, Pathogens, and Nitrogen in Tropical Countries. **Ecological Engineering**. 82: 583-589
- Van Sperling, M., and Carlos A. 2005. **Biological Wastewater Treatment in Warm Climate Regions**. Volume One. London: TJ International
- Widayat, W. dan Said, N.I. 2005. "Rancang Bangun Paket IPAL Rumah Sakit dengan Proses Biofilter Anaerob-Aerob, Kapasitas 20-30 m³ per Hari". **Kelompok Teknologi Pengelolaan Air Bersih dan Limbah Cair, Pusat Pengkajian dan Penerapan Teknologi Lingkungan, BPPT**. JAI 1, 1
- Wulandari, P.R. 2014. "Perencanaan Pengolahan Air Limbah Sistem Terpusat (Studi Kasus di Perumahan PT. Pertamina Unit Pelayanan III Plaju – Sumatera Selatan)". **Jurnal Teknik Sipil dan Lingkungan**. 2, 3, ISSN: 2355-374X

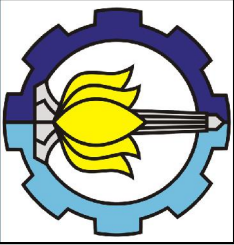
BIOGRAFI PENULIS



Penulis bernama lengkap Rosalina Eka Praptiwi. Lahir di Kabupaten Banyuwangi pada tanggal 10 April 1995. Penulis menempuh pendidikan jenjang sekolah dasar di SDN 1 Lemahbang Dewo pada tahun 2001 - 2007. Dilanjutkan ke SMPN 1 Rogojampi tahun 2007 - 2010, lalu ke SMAN 1 Genteng tahun 2010-2013. Kemudian melanjutkan pendidikan di Departemen Teknik Lingkungan Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan Institut Teknologi Sepuluh Nopember pada tahun 2013 – 2017. Selama masa perkuliahan, penulis aktif dalam beberapa organisasi di dalam kampus maupun di luar kampus. Penulis menjabat sebagai Bendahara di Komunitas Pecinta dan Pemerhati Lingkungan (KPPL) Himpunan Mahasiswa Teknik Lingkungan 2015/2016 dan Asisten Sekretaris Kementerian Dalam Negeri Badan Eksekutif Mahasiswa Institut Teknologi Sepuluh Nopember 2015/2016. Selain itu, penulis juga masuk dalam suatu *Non Government Organization* (NGO) yaitu Gerakan Melukis Harapan sebagai penanggung jawab kegiatan Bank Sampah di RT.02/RW.12 Putat Jaya, Surabaya pada tahun 2015 – 2017.

Penulis pernah menjadi Asisten Laborotium Mikrobiologi pada tahun 2015 dan Asisten Laboratorium Teknik Analisis Pencemaran Lingkungan pada tahun 2016. Penulis juga pernah melaksanakan kerja praktek di Pembangkit Listrik Tenaga Panas Bumi (PLTP) Star Energy Geothermal (Wayang Windu) Ltd. Kota Bandung di Departemen Lingkungan. Topik yang diambil dalam kegiatan kerja praktek adalah “Observasi Curah Hujan, Udara Ambien, Kondisi Lingkungan, *Gas Removal System*, dan Sumur Produksi terhadap Emisi Amoniak di PLTP Star Energy Geothermal (Wayang Windu) Ltd.”. Penulis dapat dihubungi melalui alamat e-mail rosalinaep10@gmail.com.

LAMPIRAN



Program Sarjana
Jurusan Teknik Lingkungan
Fakultas Teknik Sipil dan
Perencanaan
2017

TUGAS AKHIR

Perencanaan Instalasi
Pengolahan Air Limbah dan
Sistem Daur Ulang Air Hitam
Budget di Kota Surabaya

MAHASISWA

Rozalia Elm Pughil
3313100064

DOSEN PEMBIMBING

Prof. Dr. Ir. Nela
Karnaningrum, MSc.

JUDUL GAMBAR

Denah IPAL

LEGENDA

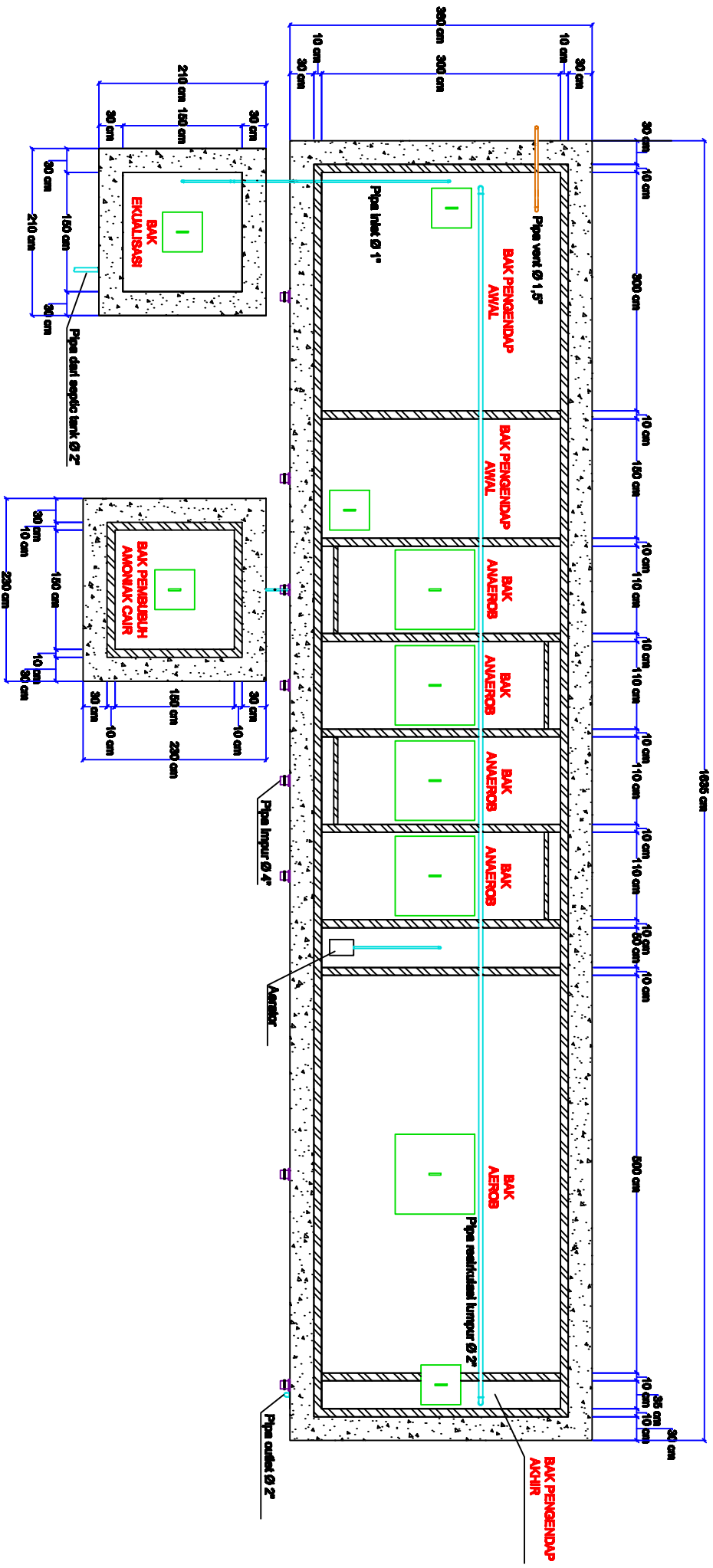
	Beton
	Fiber
	Media Saringan Tawon

SKALA

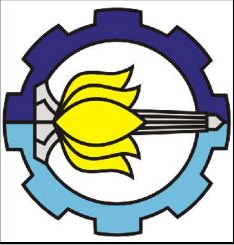
1 : 75

NOMOR GAMBAR

1 8



DENAH IPAL



Program Sarjana
Jurusan Teknik Lingkungan
Fakultas Teknik Sipil dan
Perencanaan
2017

TUJUAN AJAR

Perencanaan Instalasi
Pengolahan Air Limbah dan
Sistem Daur Ulang Air Hot
Budget di Kota Surabaya

MAHASISWA

Rozalia Eka Puspita
3313100064




DOSEN PEMBIMBING

Prof. Dr. Ir. Nela
Karnaningrum, MSc.

JUDUL GAMBAR

Bak Ekuivalensi

LEGENDA

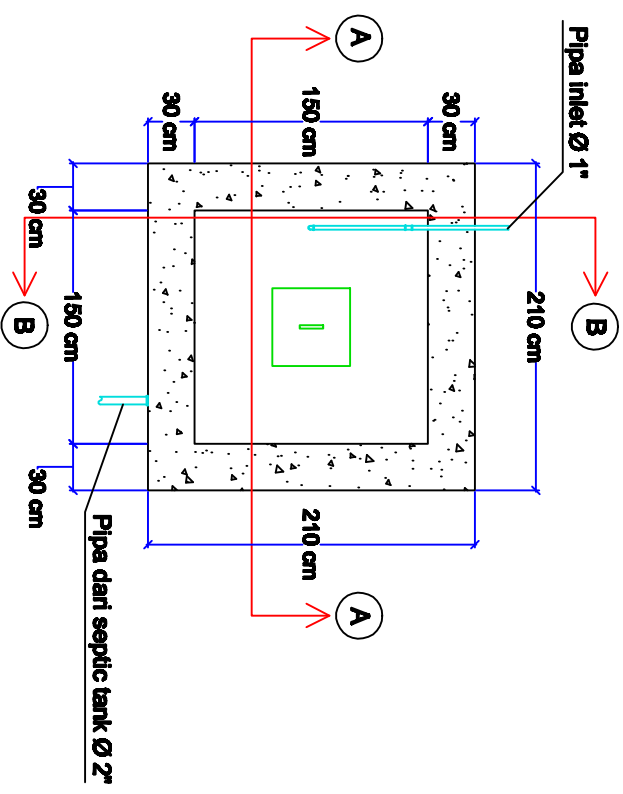
-  Beton
-  Fiber
-  Media Saringan
Taman

SKALA

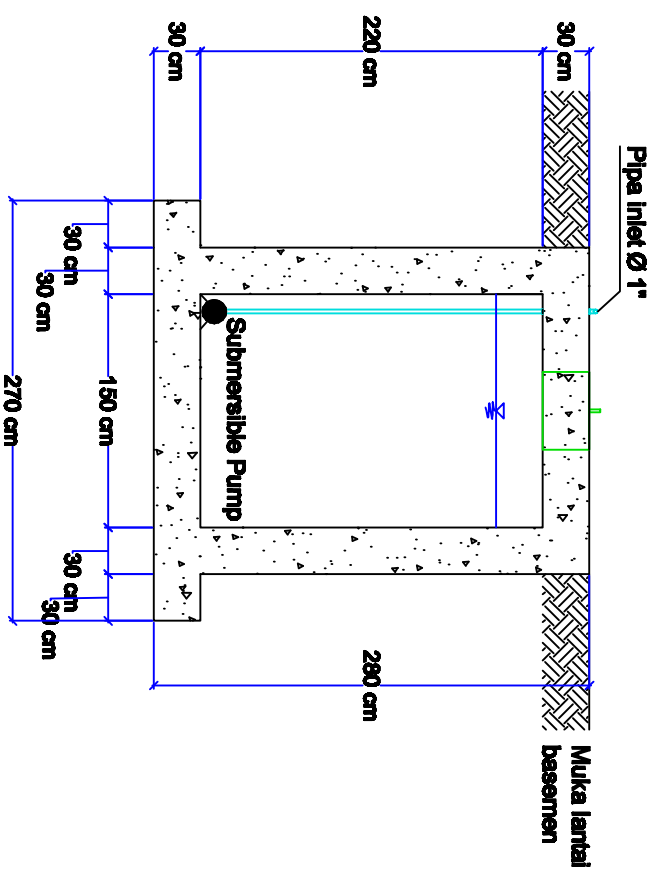
1 : 50

NOMOR GAMBAR

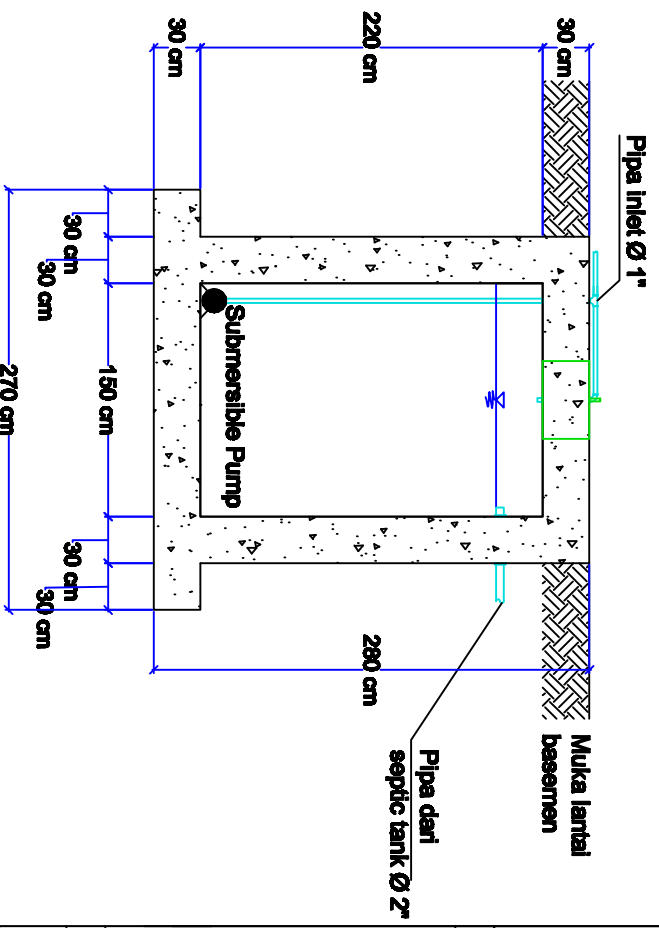
2 8



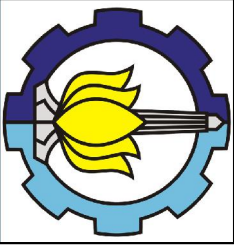
TAMPAK ATAS



POTONGAN A-A



POTONGAN B-B



Program Sarjana
Jurusan Teknik Lingkungan
Fakultas Teknik Sipil dan
Perencanaan
2017

TUGAS AKHIR

Perencanaan Instalasi
Pengolahan Air Limbah dan
Sistem Daur Ulang Air Hitam
Budget di Kota Surabaya

MAHASISWA

Rozalia Elm Pughel
3313100064




DOSEN PEMBIMBING

Prof. Dr. Ir. Nela
Karnaningrum, MSc.

JUDUL GAMBAR

Biofilter Anaerob-Aerob
(Tampak Atas)

LEGENDA

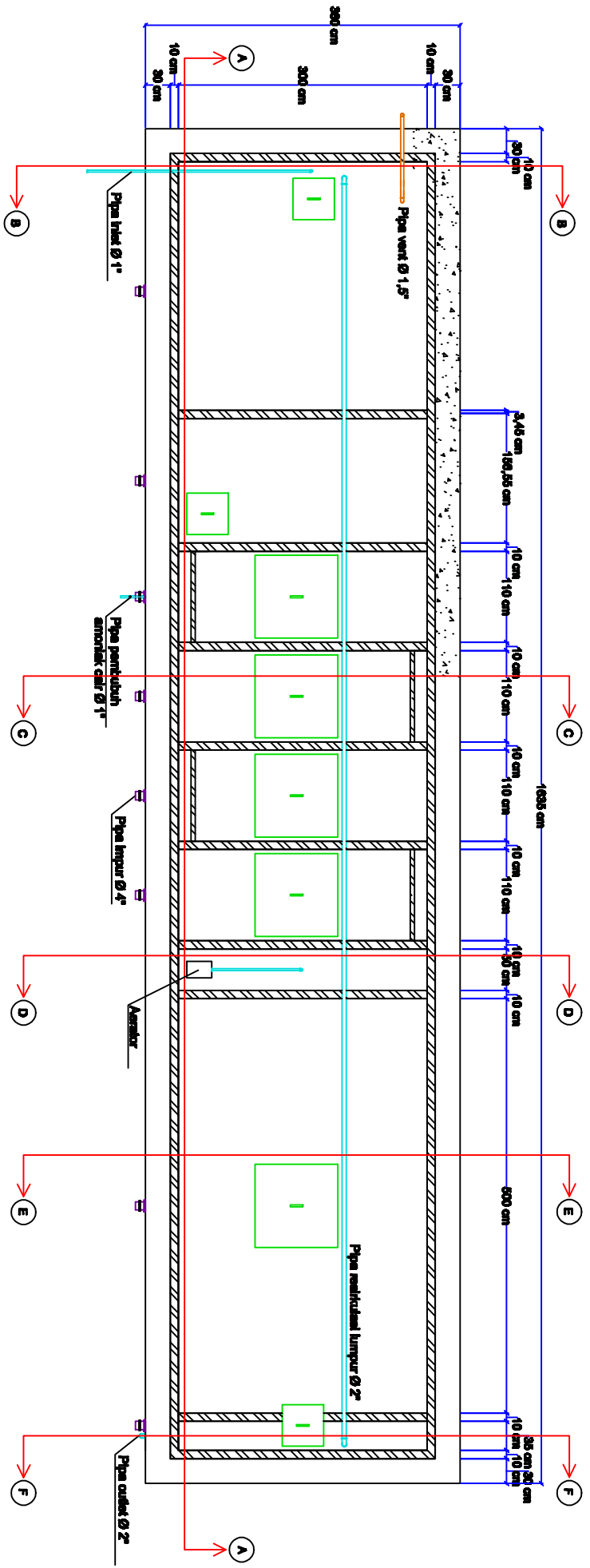
-  Beton
-  Fiber
-  Media Saringan Tawon

SKALA

1 : 75

NOMOR GAMBAR

3 8



TAMPAK ATAS



Program Sarjana
Jurusan Teknik Lingkungan
Fakultas Teknik Sipil dan
Perencanaan
2017

TUGAS AKHIR

Perencanaan Instalasi
Pengolahan Air Limbah dan
Sistem Daur Ulang Air Hitam
Budget di Kota Surabaya

MAHASISWA

Rozalia Elm Pughil
3313100064




DOSEN PEMBIMBING

Prof. Dr. Ir. Nida
Karnaningrum, MSc.

JUDUL GAMBAR

Biofilter Anaerob-Aerob
(Potongan A-A)

LEGENDA

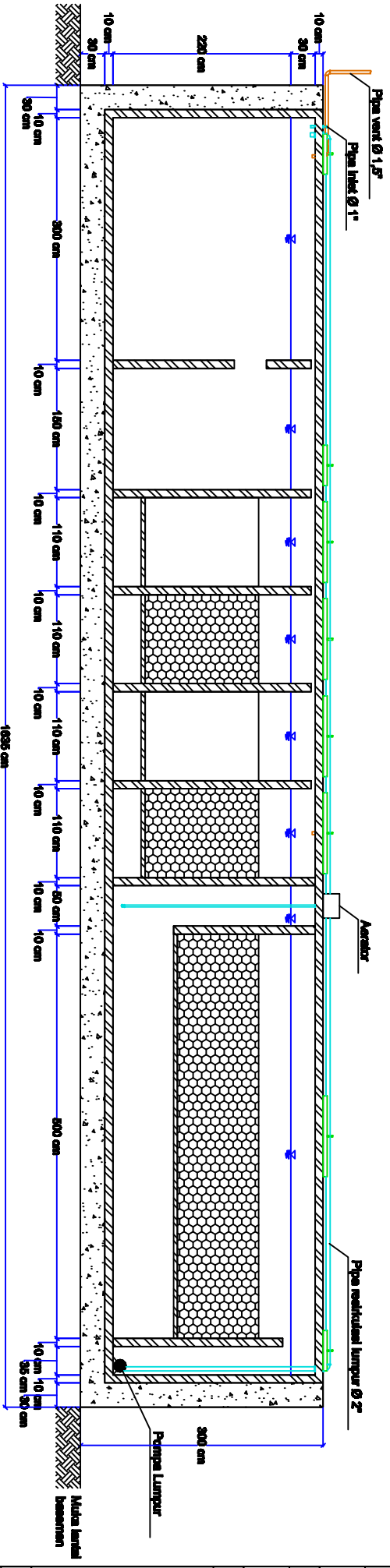
-  Beton
-  Fiber
-  Media Saringan Tawon

SKALA

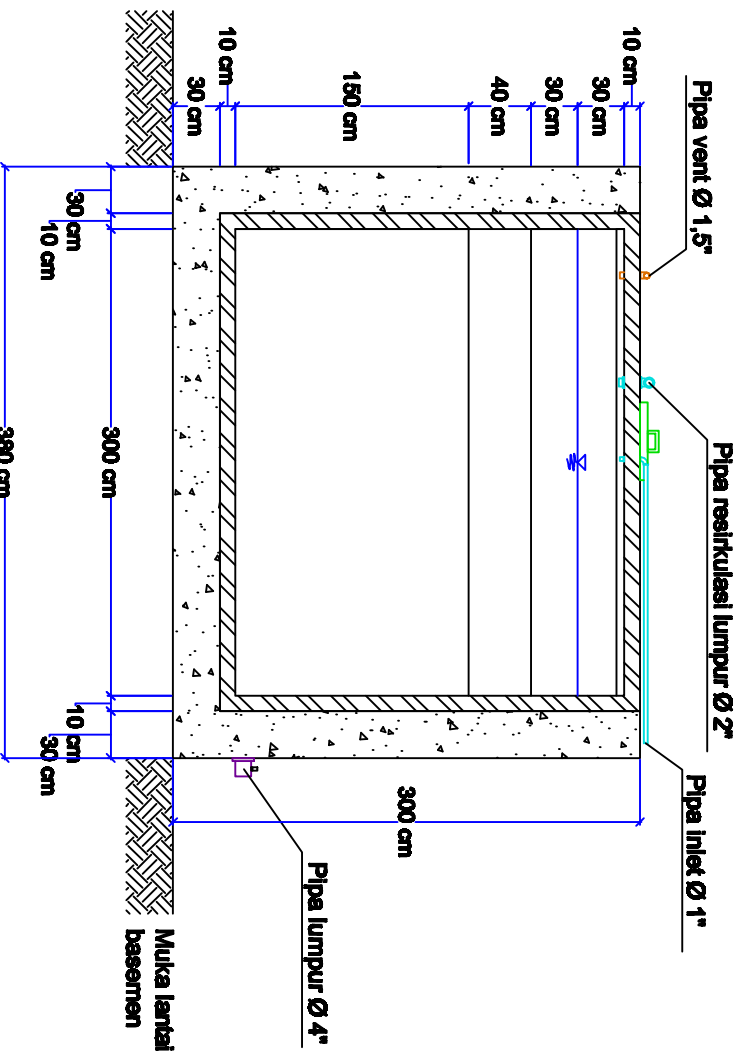
1 : 75

NOMOR GAMBAR

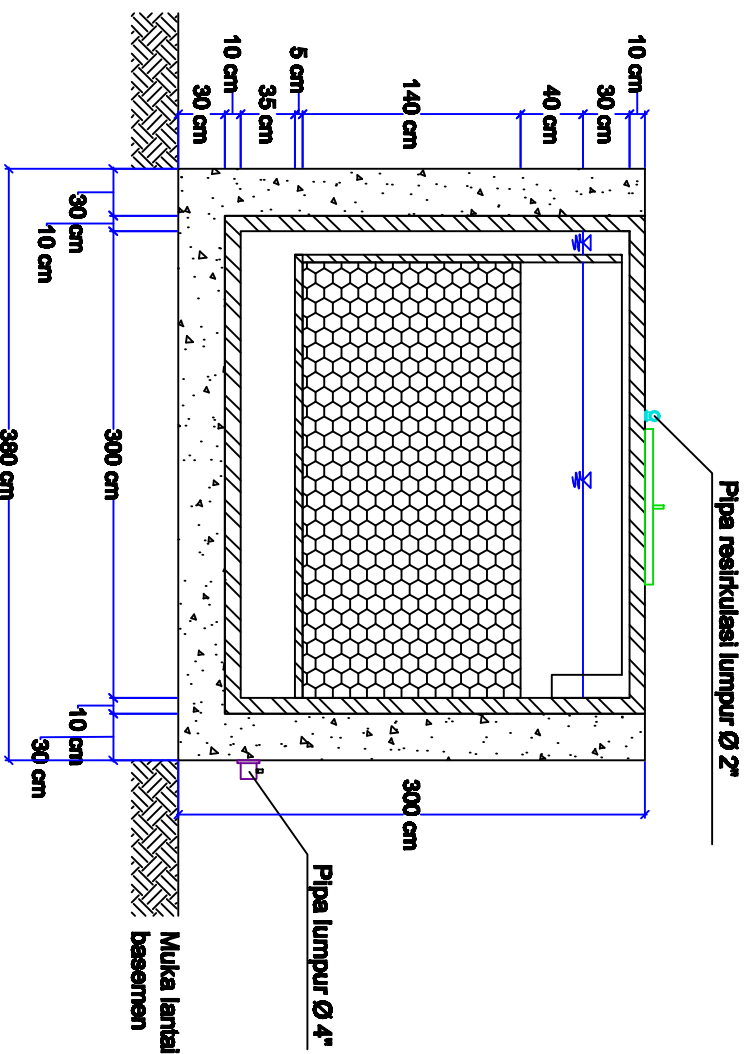
4 8



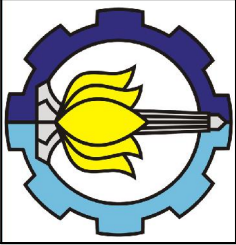
POTONGAN A-A



**POTONGAN B-B
(BAK PENGENDAP AWAL)**



**POTONGAN C-C
(BAK ANAEROB)**



Program Sarjana
Jurusan Teknik Lingkungan
Fakultas Teknik Sipil dan
Perencanaan
2017

TUGAS AKHIR

Perencanaan Instalasi
Pengolahan Air Limbah dan
Sistem Daur Ulang Air Hot
Budget di Kota Surabaya

MAHASISWA

Rozalia Eka Pughil
3313100064




DOSEN PEMBIMBING

Prof. Dr. Ir. Nela
Karnaningrum, MSc.

JUDUL GAMBAR

Biofilter Anaerob-Aerob
(Potongan B-B dan
Potongan C-C)

LEGENDA

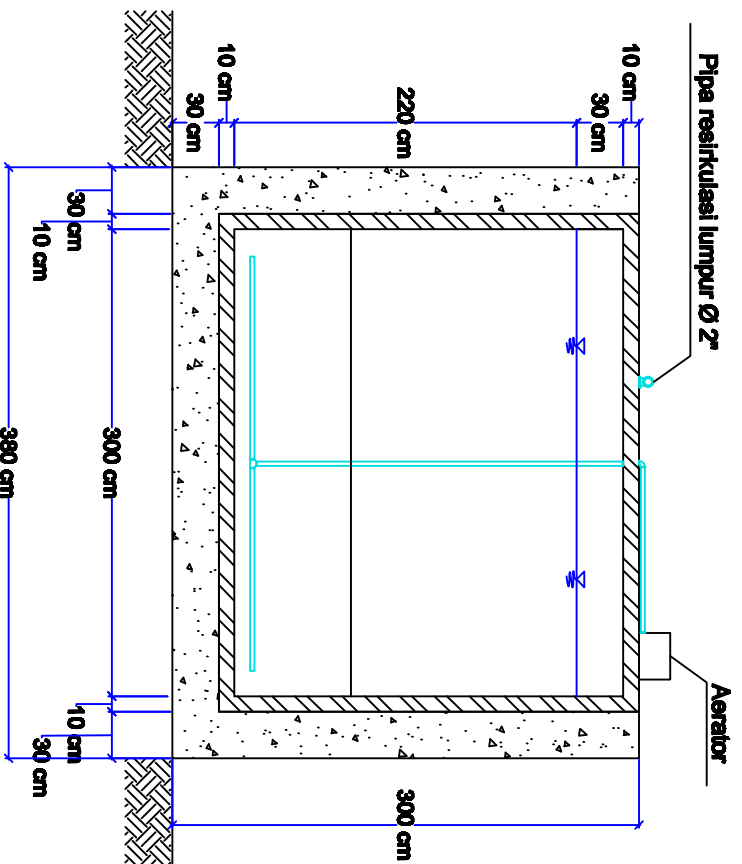
-  Beton
-  Fiber
-  Media Saringan Tawon

SKALA

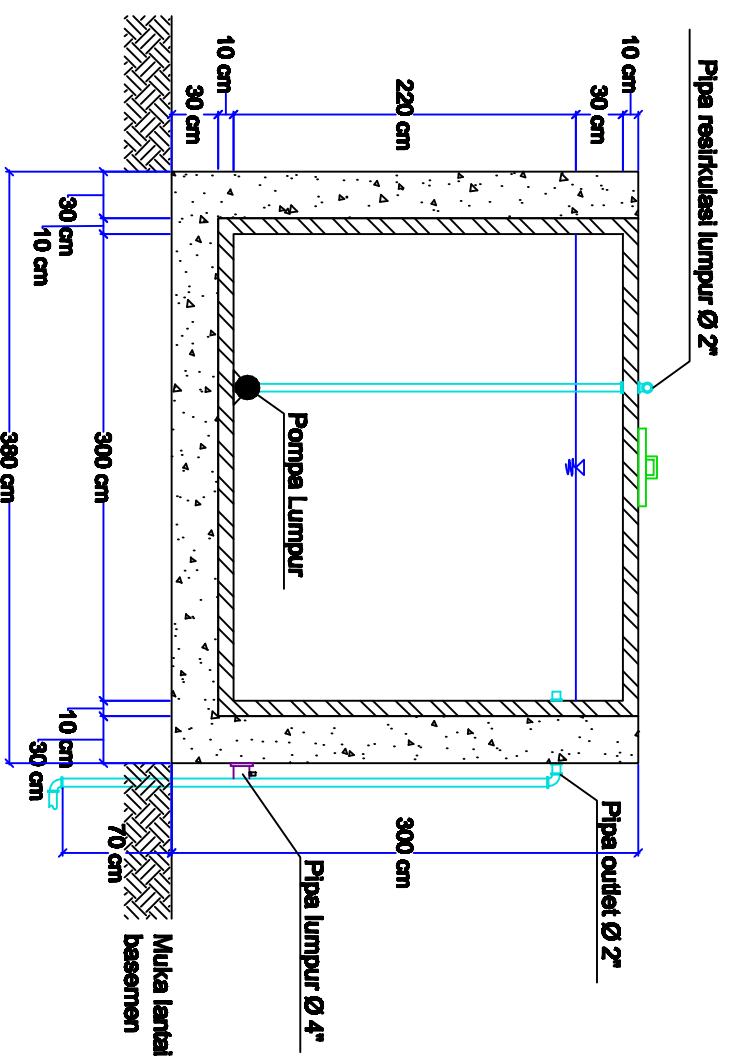
1 : 50

NOGOR GAMBAR

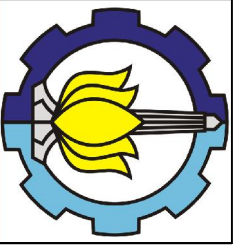
5 8



**POTONGAN D-D
(AERASI)**



**POTONGAN E-E
(BAK PENGENDAP AKHIR)**



Program Sarjana
Jurusan Teknik Lingkungan
Fakultas Teknik Sipil dan
Perencanaan
2017

TUGAS AKHIR

Perencanaan Instalasi
Pengolahan Air Limbah dan
Sistem Daur Ulang Air Hot
Budget di Kota Surabaya

MAHASISWA

Rozalita Eka Prahdi
3313100064




DOSEN PEMBIMBING

Prof. Dr. Ir. Nela
Kernatingroem, MSc.

JUDUL GAMBAR

Biofilter Anaerob-Aerob
(Potongan D-D dan
Potongan E-E)

LEGENDA

-  Beton
-  Fiber
-  Media Saringan Tawon

SKALA

1 : 50

NOGOR GAMBAR

6 8



Program Sarjana
Jurusan Teknik Lingkungan
Fakultas Teknik Sipil dan
Perencanaan
2017

TUJUAN AJAR

Perencanaan Instalasi
Pengolahan Air Limbah dan
Sistem Daur Ulang Air Hitam
Budget di Kota Surabaya

MAHASISWA

Rozalia Eka Pughil
3313100064




DOSEN PEMBIMBING

Prof. Dr. Ir. Nela
Karnaningrum, MSc.

JUDUL GAMBAR

Biofilter Anaerob-Aerob
(Potongan F-F)

LEGENDA

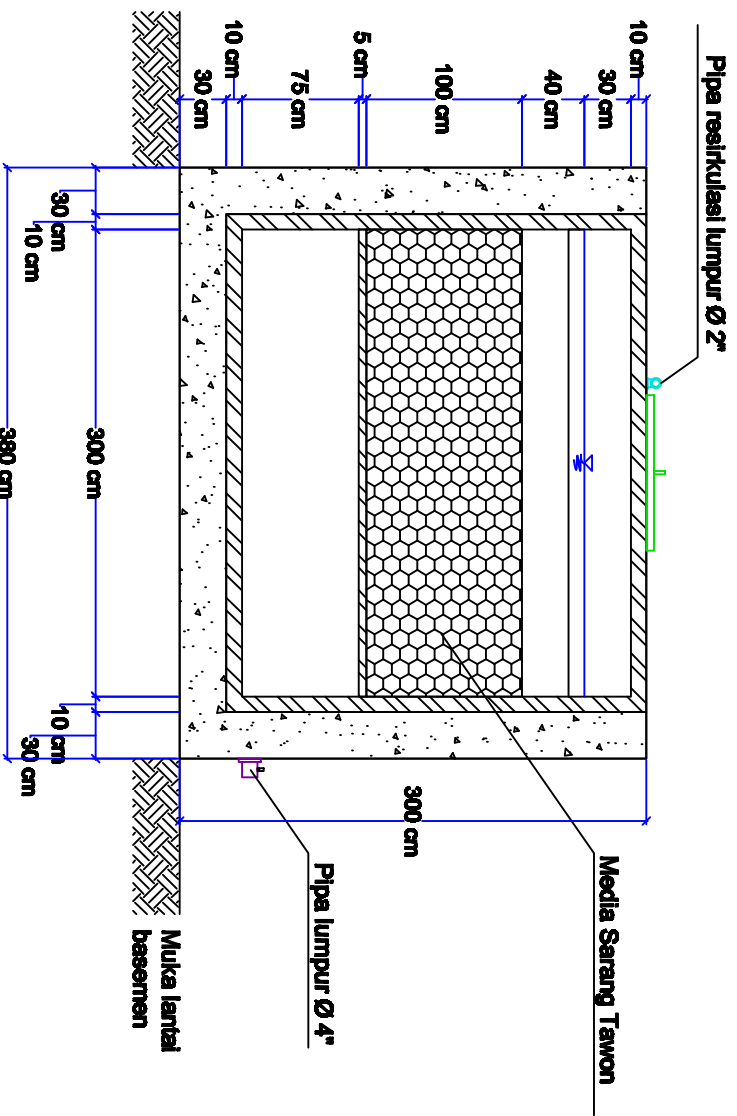
-  Beton
-  Fiber
-  Media Sarang Tawon

SKALA

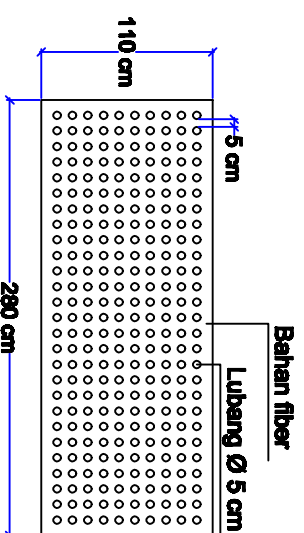
1 : 50

NOMOR GAMBAR

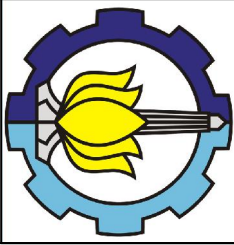
7 8



**POTONGAN F-F
(BAK AEROB)**



DETAIL PENYANGGA MEDIA FILTER



Program Sarjana
Jurusan Teknik Lingkungan
Fakultas Teknik Sipil dan
Perencanaan
2017

TUGAS ANGKUR

Perencanaan Instalasi
Pengolahan Air Limbah dan
Sistem Daur Ulang Air Hitam
Budget di Kota Surabaya

MAHASISWA

Rozalia Elm Pughil
3313100064




DOSEN PENUNJANG

Prof. Dr. Ir. Nela
Kernatrigosari, MSc.

JUDUL GAMBAR

Profil Hidrolis

LEGENDA

-  Beton
-  Fiber
-  Media Saringan Tawon

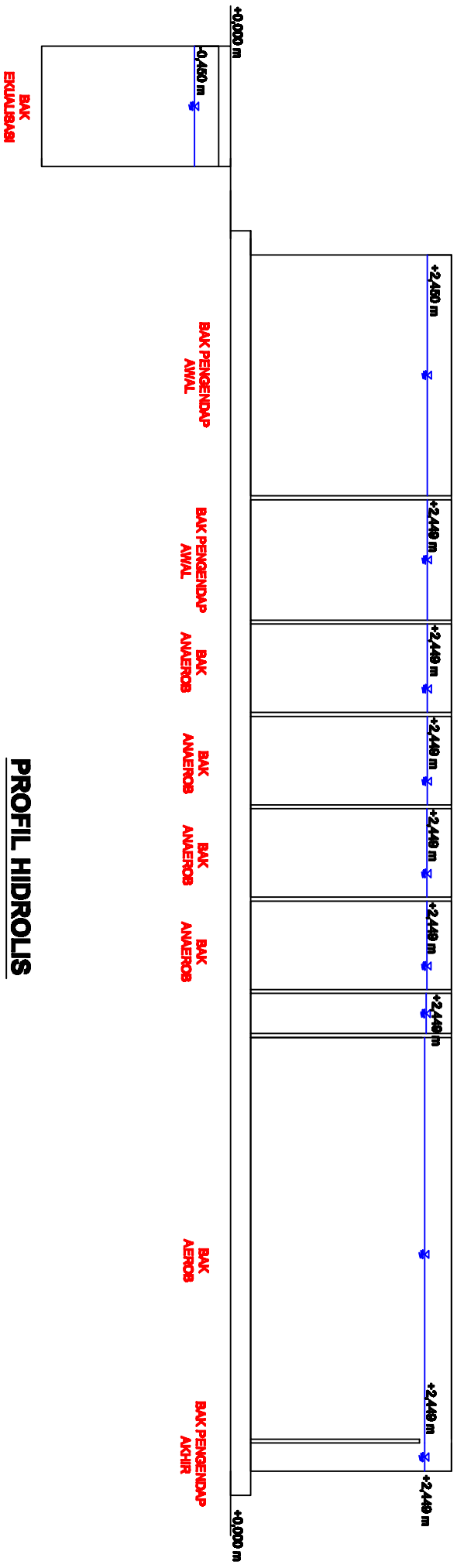
SKALA

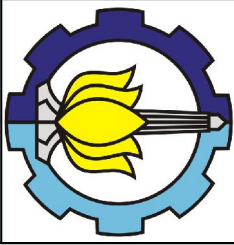
1 : 100

NOMOR GAMBAR

8 8

PROFIL HIDROLIS





Program Sarjana
Jurusan Teknik Lingkungan
Fakultas Teknik Sipil dan
Perencanaan
2017

TUGAS AKHIR

Perencanaan Instalasi
Pengolahan Air Limbah dan
Sistem Daur Ulang Air Hitam
Budget di Kota Surabaya

MAHASISWA

Rozalia Elm Pughdi
3313100064

DOSEN PEMBIMBING

Prof. Dr. Ir. Nela
Karnaningrum, MSc.

JUDUL GAMBAR

Layout IPAL
(Lantai Basement)

LEGENDA

-  Pipa Transmisi
-  Pipa Tegak
-  Pipa Datar/air

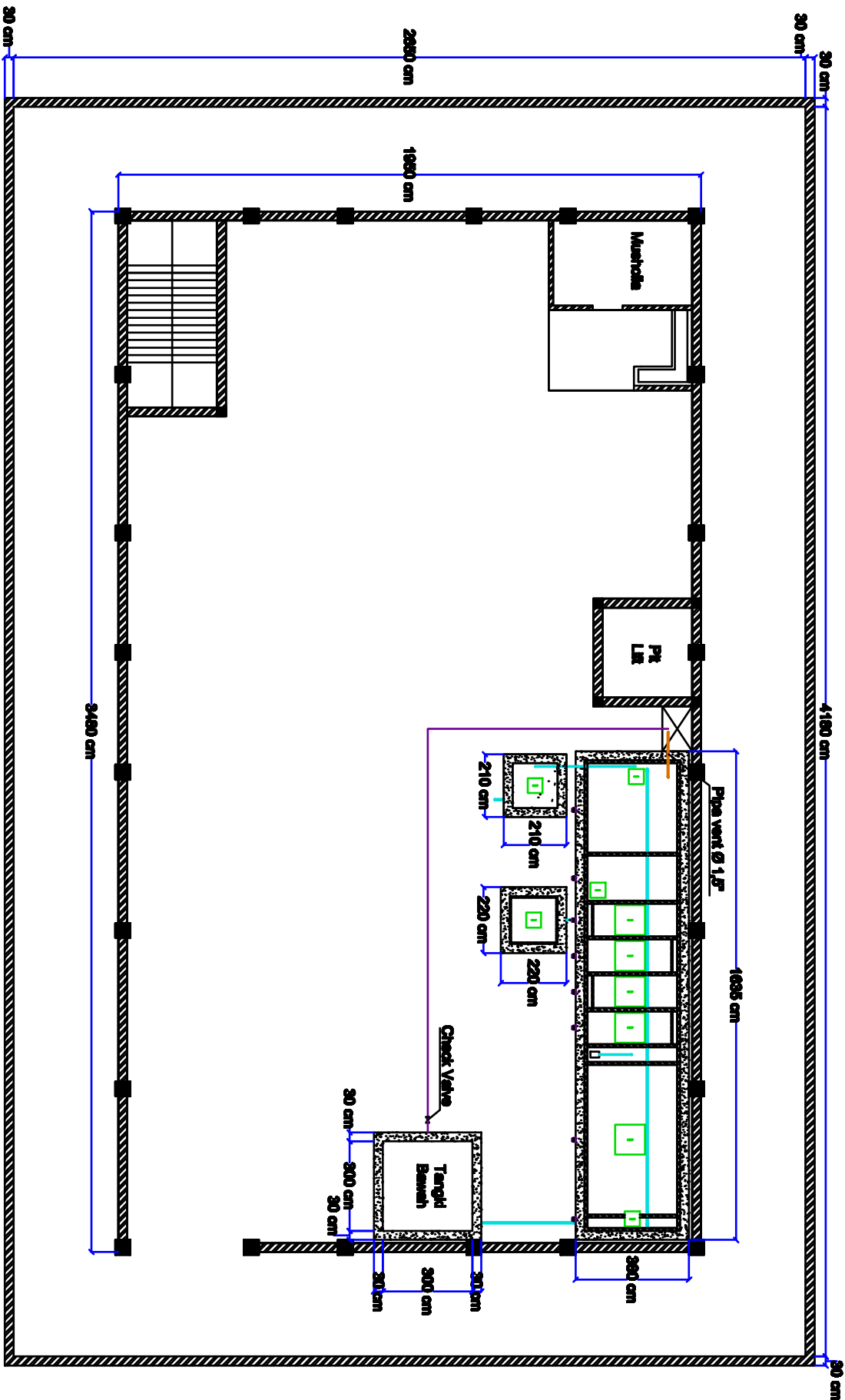
SKALA

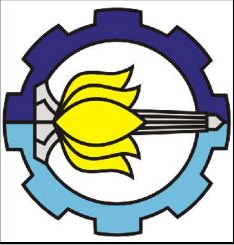
1 : 20

NOMOR GAMBAR

1 6

LANTAI BASEMEN





Program Sarjana
Jurusan Teknik Lingkungan
Fakultas Teknik Sipil dan
Perencanaan
2017

TUJUAN AJAR

Perencanaan Instalasi
Pengalihan Air Limbah dan
Sistem Daur Ulang Air Hotel
Budget di Kota Surabaya

MAHASISWA

Rozalia Eka Pradi
3313100064




DOSEN PENUNJUNG

Prof. Dr. Ir. Nela
Karnaningrum, MSc.

JUDUL GAMBAR

Lantai Atap

LEGENDA

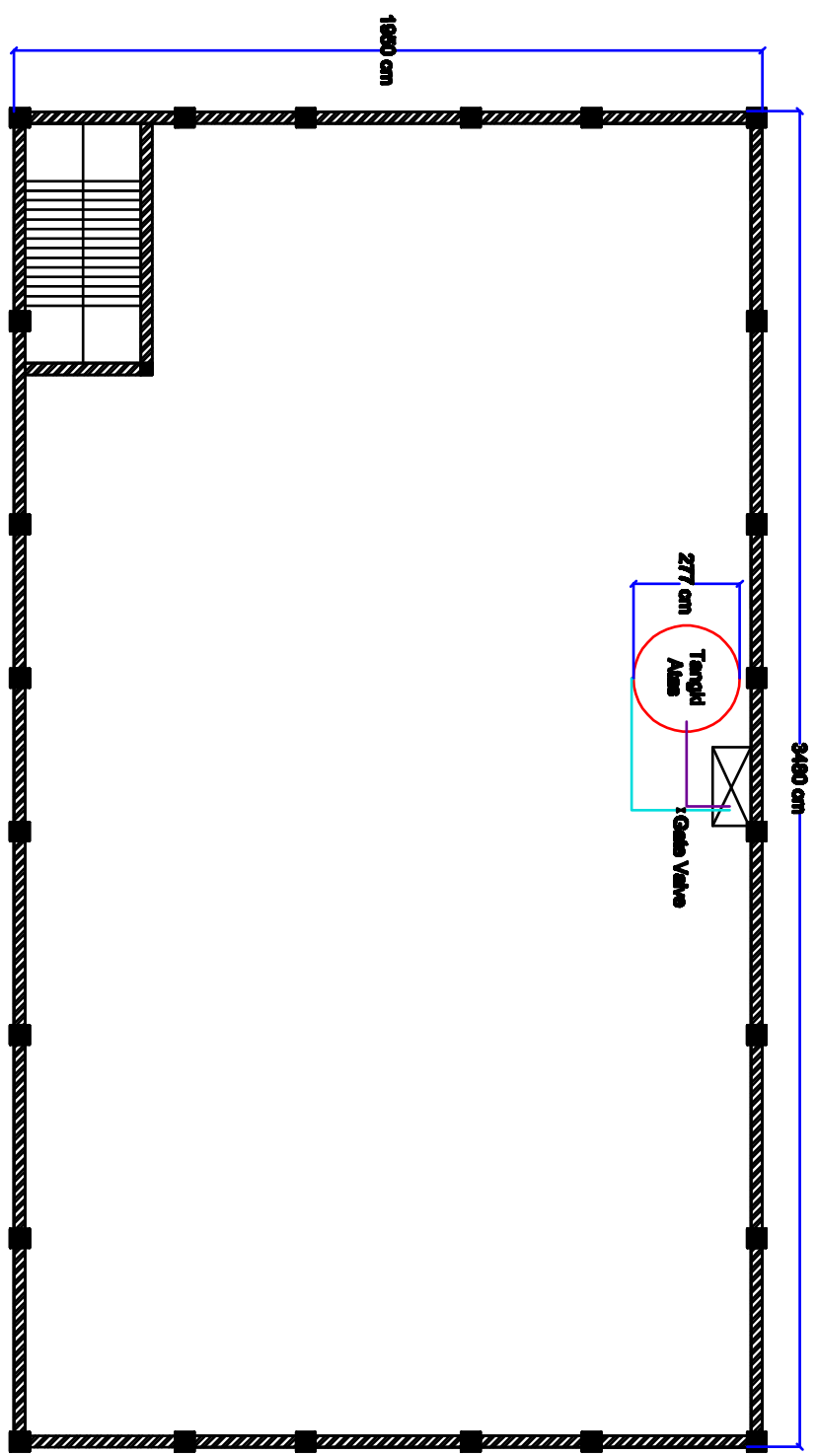
-  Pipa Transmisi
-  Pipa Tegak
-  Pipa Distribusi Air

SKALA

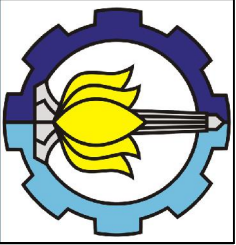
1 : 20

NOMOR GAMBAR

2 6



LANTAI ATAP



Program Sarjana
Jurusan Teknik Lingkungan
Fakultas Teknik Sipil dan
Perencanaan
2017

TUGAS AKHIR

Perencanaan Instalasi
Pengolahan Air Limbah dan
Sistem Daur Ulang Air Hot
Budget di Kota Surabaya

MAHASISWA

Rozalia Eka Puspita
3313100064

DOSEN PENUNJANG

Prof. Dr. Ir. Nela
Karnaningrum, MSc.

AJUD. GAMBAR

Jaringan Pipa
(Lantai 11 - 2)

LEGENDA

- Pipa Transmisi
- Pipa Tegak
- Pipa Distribusi Air

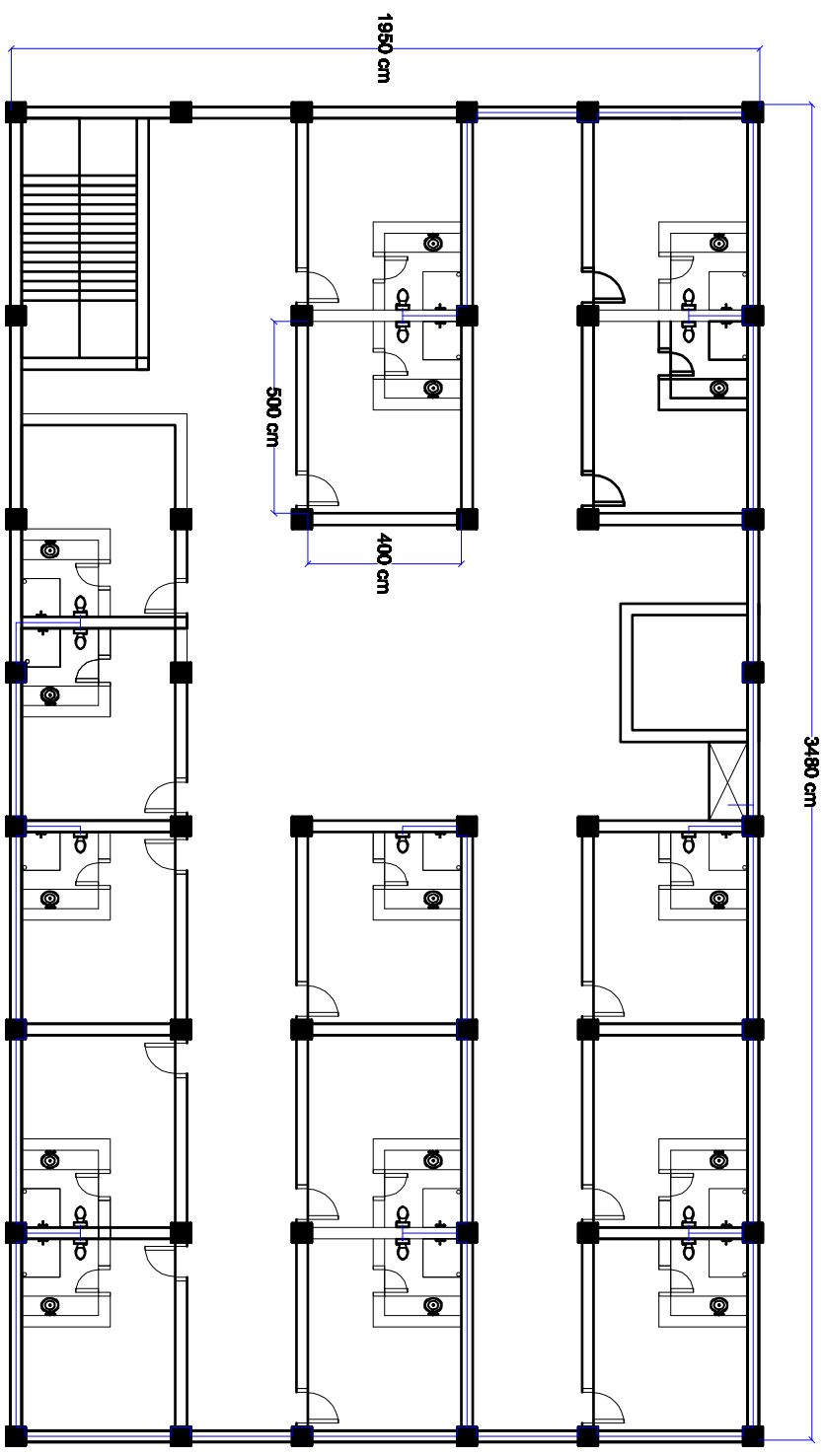
SKALA

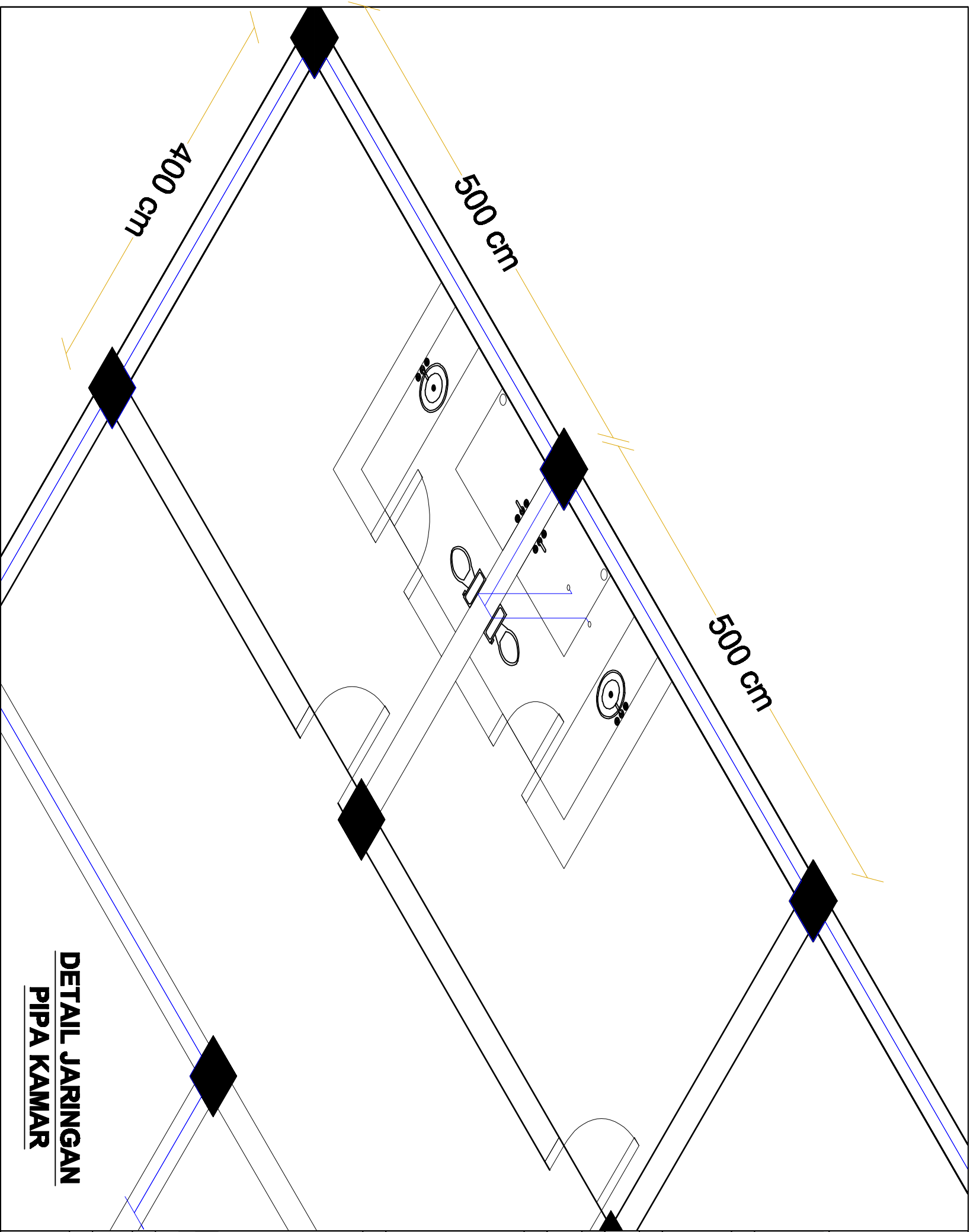
1 : 20

NOMOR GAMBAR

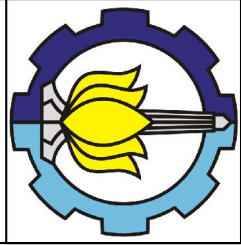
3 6

JARINGAN PIPA





**DETAIL JARINGAN
PIPA KAMAR**



Program Sarjana
Jurusan Teknik Lingkungan
Fakultas Teknik Sipil dan
Perencanaan
2017

TUJUAN AJAR

Penanganan Instalasi
Pengolahan Air Limbah dan
Sistem Daur Ulang Air Hot
Budget di Kota Surabaya

MAHASISWA

Rozalina Eka Puspita
3313100064

DOSEN PENUNJANG

Prof. Dr. Ir. Nida
Karnaningrum, MSc.

JUDUL GAMBAR

Detail Jaringan
Pipa Kamar

LEGENDA

- Pipa Transmisi
- Pipa Tegak
- Pipa Distribusi Air

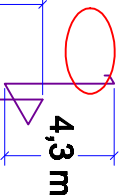
SKALA

1 : 4

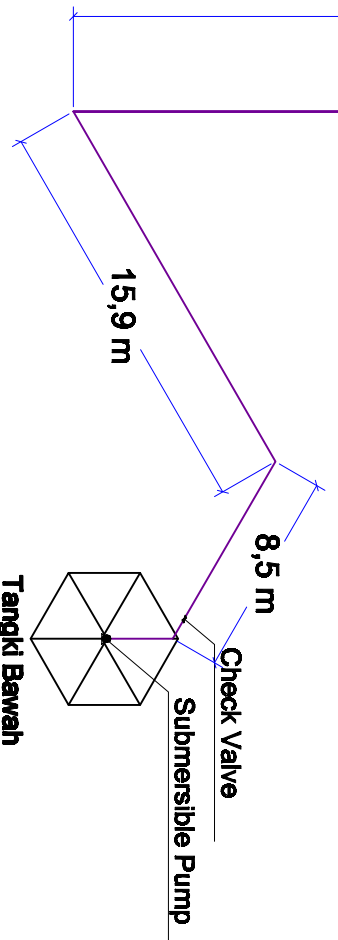
NOMOR GAMBAR

4 6

Tangki Atas



41,5 m

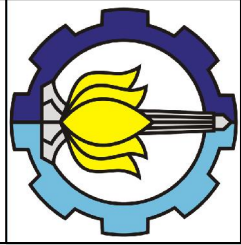


Tangki Bawah

Submersible Pump

Check Valve

ISOMETRI PIPA TRANSMISI



Program Sarjana
Jurusan Teknik Lingkungan
Fakultas Teknik Sipil dan
Perencanaan
2017

TUGAS AKHIR

Perencanaan Instalasi
Pengolahan Air Limbah dan
Sistem Daur Ulang Air Hot
Budget di Kota Surabaya

MAHASISWA

Rozalia Eka Pughil
3313100064

DOSEN PENUNJANG

Prof. Dr. Ir. Nela
Kernatrigosari, MSc.

JUDUL GAMBAR

Isometri
Pipa Transmisi

LEGENDA

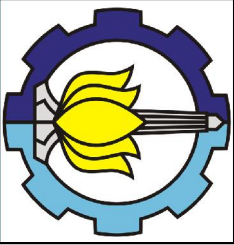
- Pipa Transmisi
- Pipa Tegak
- Pipa Distribusi Air

SKALA

1 : 25

NOGOR GAMBAR

5 6



Program Sarjana
Jurusan Teknik Lingkungan
Fakultas Teknik Sipil dan
Perencanaan
2017

TUGAS ANGKUR

Perencanaan Instalasi
Pengolahan Air Limbah dan
Sistem Daur Ulang Air Hotel
Budget di Kota Surabaya

MAHASISWA

Rozulha Eka Pongdi
3313100064




DOSEN PENUNJANG

Prof. Dr. Ir. Nela
Karnaningrum, MSc.

JUDUL GAMBAR

Isometri
Pipa Distribusi Air
(Lantai 11)

LEGENDA

-  Pipa Transmisi
-  Pipa Tegak
-  Pipa Distribusi Air

SKALA

1 : 20

NOGOR GAMBAR

6 6

ISOMETRI PIPA DISTRIBUSI AIR

