TA/TL/2024/1947

TUGAS AKHIR

Perencanaan Daur Ulang Air Limbah Domestik Menjadi Air Bersih Untuk Kebutuhan Industri di PT X, Kabupaten Bekasi

Diajukan Kepada Universitas Islam Indonesia untuk Memenuhi Persyaratan Memperoleh Derajat Sarjana (S1) Teknik Lingkungan

AMMARU JIBRAL
20513132

PROGRAM STUDI TEKNIK LINGKUNGAN
FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN
UNIVERSITAS ISLAM INDONESIA
YOGYAKARTA
2024

TUGAS AKHIR

Perencanaan Daur Ulang Air Limbah Domestik Menjadi Air Bersih Untuk Kebutuhan Industri di PT X, Kabupaten Bekasi

Diajukan Kepada Universitas Islam Indonesia untuk Memenuhi Persyaratan
Memperoleh Derajat Sarjana (S1) Teknik Lingkungan

Disusun Oleh:

AMMARU JIBRAL
20513132

Disetujui,
Dosen Pembimbing:

Dr. Ir. Andik Yulianto, S.T., MT., IPM
NIK. 025100407
Tanggal : 19/12 2024

Dr.Eng. Awaluddin Nurmiyanto, S.T., M.Eng.
NIK. 095130403
Tanggal : 20/12 2024

Mengetahui,
Ketua Prodi Teknik Lingkungan FTSP UII

Any Juliani, S.T., M.Sc. (Res.Eng.), Ph.D.
NIK. 045130401
Tanggal : 20/12 - 2024.

HALAMAN PENGESAHAN

Perencanaan Daur Ulang Air Limbah Domestik Menjadi Air Bersih Untuk Kebutuhan industri di PT X, Kabupaten Bekasi

Telah diterima dan disahkan oleh Tim Penguji
Hari : Jum'at
Tanggal : 20 desember 2024

Disusun oleh :

Ammaru Jibral
20513132

Tim Penguji :

Dr. Ir. Andik Yulianto, S.T., MT., IPM ( )

Dr.Eng. Awaluddin Nurmiyanto, S.T., M.Eng. ( )

Hudori, S.T., M.T., Ph.D. ( )

PERNYATAAN

Dengan ini saya menyatakan bahwa:

1. Karya tulis ini adalah asli dan belum pernah diajukan untuk mendapatkan gelar akademik apapun, baik di Universitas Islam Indonesia maupun di perguruan tinggi lainnya.
2. Karya tulis ini adalah merupakan gagasan, rumusan dan penelitian saya sendiri, tanpa bantuan pihak lain kecuali arahan Dosen Pembimbing.
3. Dalam karya tulis ini tidak terdapat karya atau pendapat orang lain, kecuali secara tertulis dengan jelas dicantumkan sebagai acuan dalam naskah dengan disebutkan nama penulis dan dicantumkan dalam daftar pustaka.
4. Program *software* komputer yang digunakan dalam penelitian ini sepenuhnya menjadi tanggung jawab saya, bukan tanggung jawab Universitas Islam Indonesia.
5. Pernyataan ini saya buat dengan sesungguhnya dan apabila di kemudian hari terdapat penyimpangan dan ketidakbenaran dalam pernyataan ini, maka saya bersedia menerima sanksi akademik dengan pencabutan gelar yang sudah diperoleh, serta sanksi lainnya sesuai dengan norma yang berlaku di perguruan tinggi.

Yogyakarta, 8 November 2024
Yang membuat pernyataan,



Ammaru Jibral
NIM : 20513132

PRAKATA

1. Allah SWT atas segala nikmat dan berkah yang diberikan kepada penulis.
2. Bapak Sugeng Yulianto dan Ibu Siti Aisah selaku orang tua penulis yang selalu memberikan dukungan serta doa sehingga penulis dapat menyelesaikan tugas akhir ini.
3. Bapak Dr. Ir. Andik Yulianto, S.T., MT., IPM. Selaku dosen pembimbing 1 yang selalu membimbing serta memberikan arahan, saran, dan penilaian terhadap penulis sejak penulisan proposal tugas akhir higga tugas akhir ini selesai.
4. Bapak Dr.Eng. Awaluddin Nurmiyanto, S.T., M.Eng. selaku dosen pembimbing 2 yang selalu membimbing serta memberikan kritik dan saran terhadap penulis selama proses penyusunan tugas akhir ini.
5. Bapak Hudori, S.T., M.T., Ph.D. selaku dosen penguji yang telah memberikan kritik dan saran kepada penulis dalam penyelesaian tugas akhir ini.
6. Para dosen yang selama ini telah memberikan ilmu maupun fasilitas yang sangat bermanfaat untuk penulis selama proses menempuh pendidikan di program studi teknik lingkungan universitas islam indonesia.
7. Teman – teman program studi teknik lingkungan angkatan 2020 yang telah memberikan bantuan selama masa perkuliahan.
8. Pihak – pihak lain yang telah membantu penulis selama perkuliahan di teknik lingkungan universitas islam indonesia.

Penulis sadar bahwa tugas akhir ini masih memiliki banyak kekurangan dan jauh dari kata sempurna. Terlepas dari hal tersebut, penulis berharap tugas akhir ini dapat bermanfaat untuk pembaca dan penelitian selanjutnya. Kritik dan saran yang membangun penulis sangat dibutuhkan agar tugas akhir ini menjadi lebih baik.

Pada penghujung prakata, penulis ingin meminta maaf sebesar-besarnya kepada seluruh pihak yang dirugikan oleh penulis akibat perbuatan maupun ucapan yang kurang berkenan secara langsung maupun tidak langsung.

Yogyakarta, 8 November 2024

Ammaru Jibral

ABSTRAK

AMMARU JIBRAL. Perencanaan Daur Ulang Air Limbah Domestik Menjadi Air Bersih Untuk Kebutuhan Industri di PT X, Kabupaten Bekasi. Dibimbing oleh Dr. Ir. Andik Yulianto, S.T., MT., IPM. dan Dr.Eng. Awaluddin Nurmiyanto, S.T., M.Eng.

Suplai air bersih dari PDAM di Kabupaten Bekasi kepada ribuan pelanggannya terpaksa terhenti. Pihak PDAM menghentikan sementara pengolahan air karena sungai di Bekasi yang menjadi sumber air baku telah tercemar limbah. PT X merupakan sebuah perusahaan industri di Kabupaten Bekasi yang ingin mendaur ulang air limbah domestiknya agar dapat digunakan kembali menjadi air bersih. PT X menghasilkan debit air limbah sebesar 11,5 m3/hari. Tujuan penelitian ini ialah untuk merencanakan daur ulang air limbah domestik menjadi air bersih serta mengetahui potensinya terhadap perusahaan. Penelitian ini dilakukan dengan pemilihan teknologi menggunakan metode skoring dan selanjutnya akan diperhitungkan desain teknik detailnya. Teknologi yang digunakan yaitu membran filtrasi. Membran filtrasi ialah media membran semipermeabel dengan ukuran pori-pori yang sangat kecil untuk menyaring partikel, mikroorganisme, dan juga ion. Direncanakan pengolahan lanjut dari effluent IPAL yaitu menggunakan kombinasi membran ultrafiltrasi dan reverse osmosis. Biaya pembangunan IPA ialah sebesar Rp 19.081.536 dengan hasil akhir air bersih pada perencanaan IPA ini ialah 7,76 m3/day dan air reject nya 3,74 m3/day. Nilai konsentrasi pada air limbah setelah melalui proses IPA menghasilkan BOD = 0,10 mg/L, COD = 0,71 mg/L, amoniak = 0,093, dan Total Coliform = 0,68 CFU/100mL. PT X setelah melakukan pembangunan IPA akan menghemat pembeli air dari PDAM sekitar 7,76 m3/hari dengan harga Rp 154.424.

Kata Kunci: Daur Ulang Air Limbah, Membran Filtrasi, Ultrafiltrasi, Reverse Osmosis

ABSTRACT

AMMARU JIBRAL. Planning for Recycling Domestic Wastewater into Clean Water for Industrial Needs at PT X, Bekasi Regency. Supervised by Dr. Ir. Andik Yulianto, S.T., MT., IPM. and Dr.Eng. Awaluddin Nurmiyanto, S.T., M.Eng.

The supply of clean water from PDAM in Bekasi Regency to thousands of customers was forced to stop. The PDAM temporarily stopped water treatment because the river in Bekasi, which is the source of raw water, has been polluted with waste. PT X is an industrial company in Bekasi Regency that wants to recycle its domestic wastewater so that it can be reused into clean water. PT X produces a wastewater discharge of 11.5 m3/day. The purpose of this research is to plan the recycling of domestic wastewater into clean water and to determine its potential for companies. This research is carried out by selecting technology using the scoring method and then the detailed technical design will be taken into account. The technology used is a filtration membrane. Filtration membranes are semipermeable membrane media with very small pore sizes to filter out particles, microorganisms, and even ions. It is planned that the further processing of the effluent WWTP is using a combination of ultrafiltration membrane and reverse osmosis. The cost of building the WTP is Rp 19,081,536 with the final result of clean water in this WTP plan is 7.76 m3/day and the rejected water is 3.74 m3/day. The concentration value in wastewater after going through the WTP process produced BOD = 0.10 mg/L, COD = 0.71 mg/L, ammonia = 0.093, and Total Coliform = 0.68 CFU/100mL. PT. X after building the WTP will save water buyers from PDAM around 7.76 m3/day at a price of Rp 154,424.

Keywords: Water Treatment Plant , Membrane Filtration, Ultrafiltration, Reverse Osmosis

DAFTAR ISI

ABSTRAK v
DAFTAR ISI 7
DAFTAR TABEL 9
DAFTAR GAMBAR x
BAB I PENDAHULUAN 1
1.1. Latar Belakang 1
1.2. Rumusan Masalah 2
1.3. Tujuan Penelitian 2
1.4. Manfaat Penelitian 2
1.5. Ruang Lingkup 3
BAB II TINJAUAN PUSTAKA 4
2.1 Pengendalian Pencemaran Air 4
2.2 Baku Mutu Air Limbah Domestik 5
2.3 Standar *Reuse Water* 6
2.4 *Feedwater* 6
2.5 Filtrasi 7
2.6 SNI Tentang Membran Filtrasi 10
2.7 Membran Filtrasi 10
2.8 *Recovery Rate* Membran 14
2.9 Ultrafiltrasi 15
2.10 Reverse Osmosis 16
2.11 *Clean In Place* (CIP) 16
2.12 Pompa 18
2.13 Pipa 19
2.14 Aksesoris Perpipaan 19
2.15 Aksesoris Pembantu 20
2.16 Penelitian Terdahulu 23
BAB III METODE PENELITIAN 27
3.1 Metode Pengumpulan Data 28
3.2 Teknik Pengumpulan Data 28
3.3 Metode Analisis Data 28
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN 32

4.1 *Feedwater* IPA 32
4.2 Skenario IPA 33
4.3 Pemilihan Teknologi IPA 34
4.4 *Detail Engineering Design* (DED) 36
4.4.1 Beban Pengolahan dan Efisiensi *Removal* 36
4.4.2 *Recovery Rate* Membran 37
4.4.3 Perencanaan Desain Teknologi 38
4.5 BOQ dan RAB 54
4.6 Potensi Perencanaan Pembangunan IPA 54
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN 57
5.1 Kesimpulan 57
5.2 Saran 57
DAFTAR PUSTAKA 59
LAMPIRAN 64

DAFTAR TABEL

Tabel 2. 1 Baku Mutu Air Menurut PP No.22/2021 4
Tabel 2.2 Kelas Air Menurut PP No.22/2021 5
Tabel 2.3 Baku Mutur Air Limbah Domestik 6
Tabel 2.4 Standar Baku Mutu Media Air Keperluan Higiene Sanitasi 7
Tabel 2.5 Kriteria Desain Membran Filtrasi 11
Tabel 2.6 Penelitian Terdahulu 24
Tabel 4. 1 Data Sekunder Hasil Effluent IPALD di PT X 32
Tabel 4. 2 Nilai Rata-rata dari Hasil 3 Data 32
Tabel 4. 3 Target Kualias Air Bersih 33
Tabel 4. 4 Pemilihan Skenario Menggunakan Metode Skoring 34
Tabel 4. 5 Teknologi membran Dalam Menghilangkan Konstituen 35
Tabel 4. 6 Skoring Pemilihan Teknologi Membran Filter 35
Tabel 4. 7 Beban Pengolahan Pada Parameter Daur Ulang Air Limbah 36
Tabel 4. 8 Efisien Removal Pada Parameter Daur Ulang Air Limbah 36
Tabel 4. 9 Fungsi dan Dampak Penambahan Volume Air pada Sistem IPAL 38
Tabel 4. 10 Perhitungan Desain Ultrafiltrasi 41
Tabel 4. 11 Perhitungan Desain Reverse Osmosis 44
Tabel 4. 12 Kebutuhan Air Bersih CIP 45
Tabel 4. 13 Spesifikasi Pemakaian Pompa 47
Tabel 4. 14 Perhitungan Kebutuhan Diameter dan Panjang Pipa PVC 48
Tabel 4. 15 Kecepatan Aliran Pipa Per Ukuran Pipa 48
Tabel 4. 16 Kecepatan Aliran Pipa Setelah Melewati Pompa 49
Tabel 4. 17 Kecepatan Aliran CIP Ember 50 L 49
Tabel 4. 18 Jumlah Aksesoris Pipa 51
Tabel 4. 19 Perhitungan Kebutuhan Lahan 54
Tabel 4. 20 Perhitungan Potensi Perencanaan IPA 55

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2. 1 Keunggulan Berbagai Teknologi Filtrasi 12
Gambar 2. 2 Jenis-Jenis Desain Modul..... 13
Gambar 3. 1 Flowchart tahapan penelitian 27
Gambar 3. 2 Pemilihan Skenario Daur Ulang Air Limbah..... 30
Gambar 4. 1 Neraca Massa Nilai Konsentrasi Dalam Proses IPA..... 37
Gambar 4. 2 Flowchart Debit Air Pada Sistem IPA 37
Gambar 4. 3 Flow Proses IPA..... 38
Gambar 4. 4 Ultrafiltrasi PVDF Kapasitas 2000 LPH..... 39
Gambar 4. 5 Modul Hollow Fiber Pada Membran Ultrafiltrasi..... 40
Gambar 4. 6 Membran Reverse Osmosis ULP 4040 42
Gambar 4. 7 Modul Spiral Wound Pada Membran Reverse Osmosis..... 43
Gambar 4. 8 Jenis-Jenis Pompa yang digunakan Pada Perencanaan IPA..... 46
Gambar 4. 9 Pipa PVC Rucika AW..... 47
Gambar 4. 10 Aksesoris Perpipaan..... 50
Gambar 4. 11 Tangki Air Merpati..... 52
Gambar 4. 12 Aksesoris Pembantu..... 53
Gambar 4. 13 Harga Air Bersih PDAM di Kabupaten Bekasi 55

d

BAB I
PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang

Suplai air bersih dari PDAM di Kabupaten Bekasi kepada ribuan pelanggannya terpaksa terhenti. Pihak PDAM menghentikan sementara pengolahan air karena kali di Bekasi yang menjadi sumber air baku telah tercemar limbah. Akibatnya, warga mengalami krisis air bersih dan harus mencari sumber air untuk kebutuhan sehari-hari (Kompas.id, 2023). Air bekas atau air limbah memiliki sifat berbahaya bagi lingkungan karena mengandung berbagai jenis polutan, seperti bahan kimia berbahaya, logam berat, bahan organic, dan mikroba pathogen (Supriyatno,2000). Pencemaran lingkungan yang disebabkan oleh air limbah tersebut dapat merusak ekosistem air, keanekaragaman hayati, dan mempengaruhi kualitas air yang digunakan oleh makhluk hidup lainnya. Oleh karena itu, perlu adanya pengelolaan lebih lanjut terkait permasalahan air limbah yang dapat mencemari lingkungan.

Daur ulang air limbah ialah penggunaan kembali air limbah untuk tujuan seperti proses indutsri, irigasi pertanian, dan bilas toilet. Tujuan dari daur air limbah sendiri ialah untuk melakukan penghematan biaya pemakaian terhadap air bersih (Yudo, 2010). Instalasi Pengolahan Air Limbah ialah sebuah struktur yang di rancang dan dibangun untuk mengolah air limbah dari berbagai sumber, sehingga air tersebut bisa diolah menjadi bersih dan aman untuk dibuang kembali ke lingkungan atau untuk digunakan Kembali. Dalam membangun system pengolahan air limbah diperlukan produksi dan perakitan berbagai macam komponen dan peralatan. Proses ini mencakup berbagai tahapan, yaitu mulai dari perencanaan, desain dan pembuatan komponen hingga perakitan serta pengujian system secara keseluruhan (Karyadi, 2010).

PT X merupakan sebuah perusahaan industri di kabupaten bekasi yang ingin mendaur ulang air limbah domestiknya agar dapat di gunakan kembali menjadi air bersih. PT X memiliki 320 pegawai dengan pemakaian air bersih rata-rata yaitu 50 L/pegawai/hari, untuk debit air dari effluent IPALD sebesar 11500 L/hari atau 11,5 m3/hari. PT X memiliki IPALD yang telah optimal, sehingga untuk kualitas air

d

effluent IPAL nya telah sesuai dengan baku mutu PermenLHK Nomor P.68/Menlhk-setjen/2016 tentang baku mutu air limbah domestik. PT X ingin manajemen air seperti instalasi pengolahan air (IPA) agar air dapat digunakan kembali secara efisien dan berkelanjutan untuk kebutuhan industri dengan kualitas yang diharapkan memiliki kualitas yang sama dengan kualitas air PDAM.

1.2. Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang diatas maka akan dilakukan perencanaan daur ulang air limbah domestik di PT X untuk memanajemen air agar air limbah yang telah di olah di IPALD dapat digunakan kembali secara efisien dan berkelanjutan sebagai air bersih. Berdasarkan masalah yang ada, rumusan masalah dalam penelitian ini dapat dirumuskan sebagai berikut:

1. Bagaimana perencanaan daur ulang air limbah menjadi air bersih di PT X
2. Potensi daur ulang air limbah domestik menjadi air bersih di PT X

1.3. Tujuan Penelitian

Adapun tujuan dilakukannya penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Merencanakan daur ulang air limbah menjadi air bersih di PT X
2. Mengetahui potensi daur ulang air limbah domestik menjadi air bersih di PT X

1.4. Manfaat Penelitian

Penelitian ini memiliki manfaat diantaranya adalah :

1. Memberikan wawasan tentang proses pengolahan daur ulang air limbah domestik menjadi air bersih di PT X
2. Menambah pemahaman terhadap perencanaan desain IPA yang efisien untuk menghasilkan air bersih di PT X

1.5. Ruang Lingkup

Penelitian ini memiliki ruang lingkup diantaranya :

1. Lokasi PT X di daerah Kabupaten Bekasi
2. Karakteristik feed water dari hasil effluent IPALD di PT X meliputi pH, BOD, COD, TSS, minyak dan lemak, amoniak, dan total coliform
3. Debit air limbah dari hasil effluent IPAL di PT X
4. Skenario daur ulang air limbah domestik menjadi air bersih di PT X
5. Perancangan teknologi daur ulang air limbah domestik di PT X
6. Perhitungan desain unit daur ulang air limbah domestik
7. Perhitungan rancangan anggaran biaya
8. Acuan yang dipakai untuk menganalisis parameter yaitu :
   - PERMEN-LHK Nomor P.68/Menlhk-setjen/2016 tentang baku mutu air limbah domestik
   - PERMENKES No. 2 Tahun 2023 tentang peraturan pelaksanaan Peraturan Pemerintah Nomor 66 Tahun 2014 tentang Kesehatan Lingkungan
   - Peraturan Pemerintah Nomor 22 Tahun 2021 tentang penyelenggaraan perlindungan dan pengelolaan lingkungan hidup
   - SNI 8825 Tahun 2019 tentang spesifikasi dan desain sistem filtrasi membran

d

BAB II
TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Pengendalian Pencemaran Air

Dalam Peraturan Pemerintah Nomor 22 Tahun 2021, pencemaran air merupakan masuknya makhluk hidup, zat, energi, dan komponen lain ke dalam air oleh kegiatan manusia sehingga melampaui baku mutu air yang telah ditetapkan. Pengendalian pencemaran air dapat dilaksanakan sesuai dengan rencana perlindungan dan pengelolaan mutu air. Pengendalian pencemaran air yang dimaksud seperti pencegahan dan penanggulangan pencemaran air serta pemulihan mutu air. Pencegahan pencemaran air dapat dilakukan dengan pelaksanaan pengurangan, penggunaan kembali, pendauran ulang, perolehan kembali manfaat, dan pengisian kembali air limbah. Pelaksanaan pemanfaatan dan pembuangan air limbah ini dapat dilaksanakan dengan tidak menimbulkan dampak pencemaran dan kerusakan lingkungan hidup serta sesuai dengan ketentuan peraturan perundang-undangan.

Tabel 2. 1 Baku Mutu Air Menurut PP No.22/2021

Parameter	Unit	Kelas 1	Kelas 2	Kelas 3	Kelas 4
TSS	mg/L	40	50	100	400
pH		6-9	6-9	6-9	6-9
BOD	mg/L	2	3	6	12
COD	mg/L	10	25	40	80
Amoniak	mg/L	0,10	0,20	0,50	-
Minyak&lemak	mg/L	1	1	1	10
Total Coliform	MPN/100mL	1000	5000	10000	10000

d

Dalam kategori kelas air, menurut PP nomor 22 tahun 2021 dapat dibedakan menjadi 4 kelas. Berikut merupakan keterangan dari setiap kelas air:

Tabel 2.2 Kelas Air Menurut PP No.22/2021

Kelas Air	Keterangan
Kelas 1	Diperuntukan sebagai air baku air minum, dan/atau peruntukan lain yang mempersyaratkan mutu air yang sama dengan kegunaan tersebut
Kelas 2	Tawar, peternakan, air untuk mengairi pertanaman, dan atau peruntukan lain yang mempersyaratkan mutu air yang sama dengan kegunaan tersebut
Kelas 3	Tanaman, dan/atau peruntukan lain yang mempersyarakatn mutu air yang sama dengan kegunaan tersebut
Kelas 4	Diperuntukan untuk mengairi pertanaman dan/atau peruntukan lain yang mempersyaratkan mutu air yang sama dengan kegunaan tersebut

2.2 Baku Mutu Air Limbah Domestik

Dalam Pengelolaan air limbah domestik terdapat peraturan terkait pengelolaan ataupun baku mutu limbah cair domestik, yaitu Peraturan Menteri Lingkungan Hidup dan Kehutanan Republik Indonesia Nomor P.68/Menlhk-setjen/2016 tentang baku mutu air limbah domestic. Air limbah domestik yang dihasilkan dari skala rumah tangga dan usaha atau kegiatan berpotensi mencemari lingkungan, sehingga perlu dilakukan pengolahan air limbah sebelum dibuang ke media lingkungan. Terhadap pengolahan air limbah domestik, wajib dilakukan pemantauan untuk mengetahui pemenuhan ketentuan baku mutu air limbah. Baku mutu air limbah merupakan ukuran batas atau kadar unsur pencemar atau jumlah unsur pencemar yang ditenggang keberadaannya dalam air limbah yang akan dibuang atau dilepas ke dalam sumber air dari suatu usaha ataupun kegiatan.

d

Tabel 2.3 Baku Mutur Air Limbah Domestik

Parameter	Satuan	Kadar Maksimum
pH	-	6-9
BOD	mg/L	30
COD	mg/L	100
TSS	mg/L	30
Minyak & Lemak	mg/L	5
Amoniak	mg/L	10
Total Coliform	Jumlah/100ml	3000
Debit	L/orang/hari	100

Sumber : PERMEN-LHK Nomor P.68/Menlhk-setjen/2016

2.3 Standar *Reuse Water*

Standar baku mutu kesehatan lingkungan ialah spesifikasi teknis atau nilai yang dibakukan pada media lingkungan yan berhubungan atau berdampak langsung terhadap kesehatan masyarakat. Dalam PerMenKes Nomor 2 Tahun 2023, Standar Baku Mutu Kesehatan Lingkungan untuk media Air untuk Keperluan Higiene Sanitasi meliputi parameter fisik, biologi, dan kimia yang dapat berupa parameter wajib dan parameter tambahan. Parameter wajib merupakan parameter yang harus diperiksa secara berkala sesuai dengan ketentuan peraturan perundang-undangan, sedangkan parameter tambahan hanya diwajibkan untuk diperiksa jika kondisi geohidrologi mengindikasikan adanya potensi pencemaran berkaitan dengan parameter tambahan. Air untuk Keperluan Higiene Sanitasi tersebut digunakan untuk pemeliharaan kebersihan perorangan seperti mandi dan sikat gigi, serta untuk keperluan cuci bahan pangan, peralatan makan, dan pakaian. Selain itu Air untuk Keperluan Higiene Sanitasi dapat digunakan sebagai air baku air minum.

2.4 *Feedwater*

Dalam data effluent IPAL yang diporelah ialah parameter pH, TSS, BOD&COD, amoniak, minyak dan lemak, dan total coliform. Parameter total dissolved solid (TDS) atau total padatan yang terlarut tidak diketahui nilainya, akan tetapi bisa diasumsikan pada pendekatan nilai parameter amoniak serta parameter BOD & COD yang membawa senyawa organik atau anorganik terlarut. BOD dan

COD yang tinggi dapat menunjukkan adanya peningkatan jumlah bahan organik terlarut yang juga dapat meningkatkan TDS, tetapi tidak semua bahan organik akan berkontribusi signifikan terhadap TDS (Fawell, 2017). Amoniak terlarut dalam air juga dapat meningkatkan TDS, karena amoniak merupakan senyawa terlarut dalam air. Untuk menentukan nilai TDS lebih akurat tidak bisa di asumsikan, ini harus dilakukan dengan cara pengukuran seperti menggunakan alat TDS meter.

Parameter kekeruhan (NTU) juga tidak diketahui nilainya, akan tetapi bisa diasumsikan dengan pendekatan TSS. TSS sangat berhubungan erat dengan kekeruhan air karena semakin tinggi TSS, semakin banyak partikel yang tersuspensi dapat menghalangi cahaya (Wang, 2021). Untuk menentukan nilai kekeruhan lebih akurat harus dilakukan dengan cara pengukuran menggunakan turbidimeter.

Tabel 2.4 Standar Baku Mutu Media Air Keperluan Higiene Sanitasi

No	Parameter Wajib	Satuan	Kadar Maksimum
FISIK			
1	Kekeruhan	NTU	<3
2	Warna	TCU	10
3	TDS	mg/L	<300
4	Suhu	℃	suhu udara ± 3
5	Rasa		Tidak berasa
6	Bau		Tidak berbau
BIOLOGI			
7	Total coliform	CFU/100ml	0
8	*E. coli*	CFU/100ml	0
KIMIA			
9	pH	mg/L	6,5-8,5
10	Besi	mg/L	0,2
11	Mangan	mg/L	0,1
12	Nitrat	mg/L	20
13	Nitrit	mg/L	3
14	Kromium valensi	mg/L	0,01

2.5 Filtrasi

d

Filtrasi ialah salah satu metode utama dari pengolahan air yang dimana bertujuan untuk memisahkan partikel-partikel padat dari air melalui media filter. Filtrasi dapat menghilangkan partikel tersuspensi, mikroorganisme, serta zat-zat pencemar lainnya yang bisa membahayakan kesehatan manusia serta lingkungan (Huang et al, 2019). Secara umum, prinsip kerja filtrasi yaitu memaksa air melewati media penyaringan yang memiliki pori-pori dengan ukuran tertentu. Pori-pori ini memungkinkan air untuk lewat, sementara partikel yang lebih besar akan tertahan di dalam media filter. Berikut merupakan beberapa media filter yang sering digunakan pada filtrasi.

1. Pasir

   Metode ini ialah teknik konvensional yang menggunakan lapisan pasir untuk menyaring partikel dan kotoran. Pasir efektif dalam menghilangkan partikel besar dan bakteri (Michaels & Wurtz, 2018). Media pasir biasanya digunakan dalam saringan pasir lambat dan saringan pasir cepat. Saringan pasir lambat bekerja dengan cara menahan air dalam jangka waktu yang lama hingga memungkinan pengendapan partikel kecil, sebaliknya saringan pasir cepat menggunakan tekanan untuk meningkatkan laju filtrasi.

2. Karbon Aktif

   Karbon aktif biasa digunakan untuk menyerap zat organik, klorin, dan bahan pencemar lainnya serta juga dapat memperbaiki rasa dan bau pada air (Wang & Chen, 2017). Karbon aktif memiliki pori yang luas, sehingga mampu menangkap molekul-molekul polutan organik secara efisien. Karbon aktif juga sering digunakan dalam pengolahan air minum untuk menghilangkan senyawa organik dan logam berat.

3. Keramik

   Media keramik memiliki pori-pori yang sangat kecil, media ini mampu menyaring mikrooganisme seperti bakteri dan virus pada air. Media keramik tahan lama dan dapat dicuci kembali untuk digunakan. Media ini sering digunakan dalam pengolahan air rumah tangga dan sistem pengolahan air bersih

yang sumber airnya terkontaminasi mikroorganisme patogen.

4. Membran

   Membran filtrasi ialah teknologi modern yang digunakan dalam berbagai aplikasi pengolahan air. Membran berfungsi sebagai penghalang fisik yang dimana hanya air dan molekul tertentu dapat melewatinya, sedangkan untuk partikel, mikroorganisme, dan polutan akan tertahan. Filtrasi membran sangat efektif untuk menghasilkan air berkualitas tinggi serta banyak digunakan dalam pengolahan air limbah serta desalinasi air laut.

Filtrasi pada pengolahan air tidak hanya bertujuan untuk menghilangkan padatan tersuspensi, akan tetapi juga dapat mengurangi beban biologis seperti virus dan bakteri serta logam berat maupun zat terlarut berbahaya. Filtrasi dapat dikombinasikan dengan proses pengolahan air lainnya seperti koagulasi, flokulasi, dan desinfeksi untuk mencapai hasil pengolahan yang optimal.

Terdapat tiga jenis filtrasi yang umum digunakan dalam pengolahan air, yaitu *depth filtration*, *surface filtration*, dan *membrane filtration*.

1. *Depth Filtration*

   Prinsip kerja depth filtration ialah dengan cara menjebak partikel bukan hanya dipermukaan tetapi di seluruh lapisan media filter. Media ini biasanya berupa pasir, keramik, atau bahan porous lainnya yang memungkinkan air mengalir melewati lapisan yang tebal. *Depth filtration* memiliki kapasitas yang besar untuk menahan partikel dengan berbagai ukuran karena partikel dapat tersaring diseluruh kedalaman media (Michaels & Wurtz, 2018).

2. *Surface Filtration*

   Surface filtration bekerja dengan menjebak partikel di permukaan media filter. Media filter ini biasanya berupa bahan tipis serta berpori yang memungkinkan air melewati permukaanya, sementar partikel tersangkut dilapisan atas. *Surface filtration* efektif untuk menghilangkan partikel besar yang tidak dapat menembus pori-pori media. Surface filtration juga dapat mempermudah proses

pembersihan karena partikel hanya tertahan di permukaan filter (Huang et al., 2019).

3. *Membrane Filtration*

   Membran filtrasi menggunakan media membran semipermeabel dengan ukuran pori-pori yang sangat kecil untuk menyaring partikel, mikroorganisme, dan juga ion. Jenis-jenis membran filtrasi ialah mikrofiltrasi, ultrafiltrasi, nanofiltrasi, dan reverse osmosis dengan masing-masing memiliki ukuran pori-pori yang berbeda.

2.6 SNI Tentang Membran Filtrasi

SNI 8825 Tahun 2019 adalah standar nasional Indonesia yang mengatur tentang spesifikasi dan desain sistem filtrasi membran, yang diterapkan pada berbagai jenis proses pengolahan air dan limbah. Membran filtrasi merupakan salah satu teknologi pengolahan yang penting dalam berbagai sektor, seperti penyediaan air minum, pengolahan limbah, serta industri makanan dan farmasi. Teknologi membran ini menggunakan prinsip penyaringan dengan media berupa membran yang dapat memisahkan partikel-partikel berdasarkan ukuran dan sifat fisik lainnya.

Pada SNI 8825 Tahun 2019, membahas berbagai jenis membran filtrasi yang digunakan, antara lain membran ultrafiltrasi (UF), mikrofiltasi (MF), nanofiltrasi (NF), dan osmosis terbalik (RO). Standar ini memberikan pedoman mengenai pemilihan, desain, dan operasi sistem filtrasi membran, termasuk spesifikasi material membran, ketahanan terhadap *fouling*, dan kapasitas permeasi. Kualitas air yang dihasilkan juga diatur dalam standar ini, dengan ketentuan-ketentuan teknis yang memastikan bahwa air yang diolah memenuhi standar kesehatan dan kualitas yang ditetapkan.

2.7 Membran Filtrasi

Membran filtrasi diketahui sangat baik menurunkan kandungan BOD, COD, amoniak dan total coliform dalam air (Metcalf & Eddy, 2003). Dalam instalasi pengolahan air, teknologi membran digunakan sebagai alternatif dari proses

d

konvensional untuk menghasilkan air bersih yang bebas akan kontaminan. Teknologi membran memiliki beberapa keuntungan yaitu seperti konsumsi energi yang rendah, sistem operasi yang sederhana, kebutuhan lahan yang lebih kecil, dan ramah lingkungan. Teknologi membran dapat mengurangi senyawa organik dan anorganik yang berada dalam air tanpa menggunakan bahan kimia dalam pengoperasiannya (Mila, 2022). Berikut merupakan jenis-jenis dari membran filtrasi.

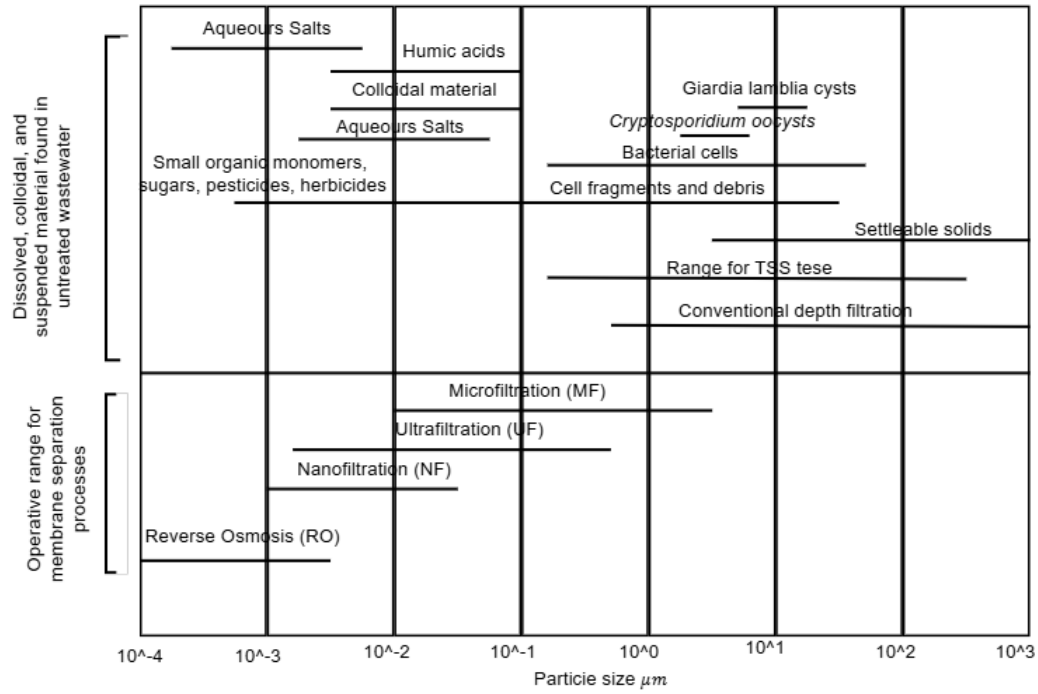
Tabel 2.5 Kriteria Desain Membran Filtrasi

Teknologi Membran	**Struktur Operasi (ukuran pori)**	**Range Operasi Tipikal (μm)**	**Tekanan (kPa)**	**Kebutuhan Energi (kWh/m^3)**	**Flux ($L/m^{2.d}$)**
Mikrofiltrasi	Makropori (>50 nm)	0,08 – 2	7-100	0,40	405-1600
Ultrafiltrasi	Mesopori (2-50 nm)	0,005-0,20	70-700	3	405-815
Nanofiltrasi	Mikropori (<2 nm)	0,001-0,01	500-1000	5,30	200-815
Reverse Osmosis	Dense (<2 nm)	0,0001-0,001	860-7000	10,20	320-490

Sumber : Metcalf & Eddy, 2003

Dalam berbagai teknologi membran dalam filtrasi, terdapat perbandingan ukuran konstituen yang ditemukan dalam air limbah serta kisaran ukuran operasi untuk teknologi membran. Berikut merupakan gambar terkait keunggulan dari berbagai teknologi membran untuk menghilangkan bahan terlarut, koloid, dan tersuspensi yang ditemukan dalam air limbah.

d



Gambar 2. 1 Keunggulan Berbagai Teknologi Filtrasi dalam Menghilangkan Polutan Berbahaya

Sumber : Metcalf & Eddy, 2003

Selain dari sifat membran, kinerja pemisahan sangat ditentukan oleh desain modul dan desain sistem. Modul ialah unit terkecil dimana membran dengan area tertentu disusun. Desain modul membran yang memberikan area membran yang besar dan ekonomis menjadi penting untuk aplikasi pemisahan membran secara industrial. Desain modul membran filtrasi berperan penting dalam ketahanan *fouling*, menyokong membran, dan menyediakan pengaturan fluida secara efektif (Wenten dkk, 2014).

d



Gambar 2. 2 Jenis-Jenis Desain Modul

Sumber : Wenten dkk, 2014

- *Plate & Frame*

  Desain modul *plate & frame* menggunakan modul *flat-sheet* yang ditempatkan di atas sebuah *plate*, *flow* channel biasanya tipis (1-3 mm), terkadang dipasang dengan channel *spacer*, membran disusun dalam *flow* channel yang dihubungkan secara seri/paralel, dan terbatas untuk operasi tekanan rendah, biasanya digunakan dalam proses MF/UF (Wenten dkk, 2014).

- Spiral Wound

  Desain modul spiral wound menggunakan gulungan *flat-sheet* yang mengelilingi pipa sentral, sisi internal berisi *permeate spacer* yang di desain untuk menyokong membran, *feed* channel *spacer* ditempatkan di antara *the leaves* (tinggi channel 1-2 mm), dan biasanya digunakan untuk skala besar seperti UF, NF, dan RO (Wenten dkk, 2014).

- Tubular

  Desain modul tubular memiliki permukaan membran aktif pada bagian dalam tube, memiliki diameter tube 5- 25 mm, modul mirip dengan *shell and tube heat exchanger*, dengan *tube* dihubungkan secara seri dan paralel, dan paling cocok untuk umpan kotor (Wenten dkk, 2014).

- Hollow Fiber

d

Desain modul hollow fiber memiliki beberapa kelebihan yaitu kebutuhan energi nya yang rendah, permukaan per satuan volume besar, fleksibel, dan biaya operasi rendah (Wenten dkk, 2014).

2.8 *Recovery Rate* Membran

Persentase *permeate* yang dihasilkan pada membran ultrafiltrasi berkisar antara 80 - 95%. Dalam kondisi optimal presentase permate pada ultrafiltrasi dapat mencapai sekitar 90% dan sisanya akan menjadi konsentrat atau limbah. Namun, jika terjadi *fouling* pada membran, persentase ini dapat menurun secara signifikan hingga 80% atau bahkan bisa lebih rendah, tergantung pada tingkat keparahan *fouling* serta frekuensi pembersihan membran yang dilakukan (Strathmann, 2020).

Pada sistem reverse osmosis, persentase *permeate* umunya berkisar antara 50 – 85%. Dalam kondisi ideal sistem RO dapat mencapai persentase *permeate* sekitar 75%. Namun, pada kondisi yang tidak optimal atau adanya *fouling* pada membran dapat menyebabkan penurunan hingga 50%, dimana sebagian air baku akan dibuang sebagai limbah atau konsentrat (Petersen, 2020).

Kemudian setelah mengetahui nilai permeat dan konsentrat akan dihitungkan nilai reduksi volume pada sistem membran. Reduksi volume yang didefinisikan sebagai rasio antara laju umpan awal dengan laju konsentrat. Rasio reduksi volume pada sistem membran ialah perbandingan antara volume awal larutan (umpan) dengan volume akhir larutan yang telah mengalami pemisahan, yaitu retentate. (cairan yang tidak lolos membran). Rasio ini digunakan untuk mengukur seberapa efektif proses filtrasi dalam mengurangi volume umpan.

Air konsentrat pada sistem membran memiliki kandungan dengan konsentrasi tinggi dari zat-zat terlarut, mineral, garam, bahan organik, dan kontaminan lain yang terjebak selama proses filtrasi. Air konsentrat ini juga membawa sisa-sisa bahan kimia dari hasil proses pencucian membran, oleh karena itu sangat berbahaya jika air konsentrat ini langsung dibuang ke lingkungan ataupun digunakan kembali. Perlu adanya pengolahan kembali agar air konsentrat dari hasil sistem membran menjadi aman digunakan.

Air konsentrat akan di alirkan kembali ke bak ekualisasi pada sistem IPAL

d

untuk diolah kembali agar dapat menghilangkan polutan berbahaya. Bak ekualisasi pada sistem IPAL berfungsi untuk menampung sementara air limbah dengan volume yang fluktuatif, ini memastikan aliran yang stabil dan teratur ke unit pengolahan utama, sehingga proses pengolahan tidak terganggu oleh lonjakan atau kekurangan volume. Bak ekualisasi juga berfungsi sebagai penyeimbang kualitas air limbah yang bervariasi. Bak ekualisasi memungkinkan pencampuran air limbah sehingga kualitas air yang masuk ke unit pengolahan lebih seragam dan memudahkan proses pengolahan selanjutnya.

Hasil air buangan dari sistem membran yang selanjutnya dialirkan kembali ke proses IPAL memiliki dampak pada kinerja IPAL seperti beban hidrolik pada sistem IPAL akan meningkat, kebutuhan energi untuk proses-proses tertentu meningkat seperti aerasi dan pemompaan, dan dampak terhadap dosis kimiawi untuk proses koagulasi dan flokulasi yang perlu disesuaikan kembali agar pengolahan dapat optimal.

2.9 Ultrafiltrasi

Ultrafiltrasi memiliki ukuran pori 0,01 mikrometer, yang mampu menyaring molekul besar seperti protein, virus, dan bakteri. Ultrafiltrasi *polyvinylidene fluoride* (PVDF) memiliki sifat yang tahan terhadap bahan kimia, memiliki kekuatan mekanik yang tinggi, dan relatif tahan terhadap *fouling*. Sistem ultrafiltrasi PVDF dengan kapasitas 2000 liter per jam (LPH) banyak digunakan dalam pengolahan air minum serta pengolahan air limbah. PVDF sebagai material membran memiliki keunggulan dalam hal ketahanan terhadap oksidasi dan kestabilan termal, sehingga cocok digunakan dalam berbagai kondisi operasi yang ekstrem. Ultrafiltrasi PVDF beroperasi pada tekanan rendah, biasanya tekanan nya sekitar 1 – 5 bar.

PVDF memiliki sifat hidrofobik, yang berarti membran cenderung menarik partikel hidrofobik, sehingga berpotensi meningkatkan *fouling*. Inovasi terbaru dalam modifikasi permukaan membran PVDF yaitu menambahkan zat penghidrofil yang dimana dapat meningkatkan ketahanan membran terhadap *fouling* serta dapat memperpanjang umur pakai dan mengurangi frekuensi pembersihan. Desain modul

d

membran yang digunakan adalah hollow fiber, dimana hollow fiber ini memiliki luas permukaan yang besar. Dengan demikian, air yang dapat difiltrasi lebih banyak dalam satu waktu (Li & Tan, 2021).

2.10 Reverse Osmosis

Membran reverse osmosis ialah salah satu teknologi yang paling efektif diantara jenis membran filtrasi lain nya untuk pengolahan air, terutama dalam menghilangkan ion, kontaminan, senyawa terlarut, virus dan bakteri. Membran RO memiliki kemampuan untuk menghilangkan TDS pada air hingga 99%, yang dimana ini sangat efektif dalam mengurangi tingkat garam dalam air (desalinasi) serta dapat menghilangkan bahan kimia berbahaya seperti logam berat.

Membran RO ULP (*ultra low pressure*) 4040 memiliki tekanan yamg sangat rendah, biasanya dibawah 100 psi. Hal ini berbeda dengan membran RO lainnya yang sering kali membutuhkan tekanan lebih tinggi untuk mencapai tingkat pemisahan yang sama. Dengan tekanan operasi yang lebih rendah, membran ULP ini menjadi sangat efisien dalam hal penggunaan energi, mengurangi biaya operasional terutama pada aplikasi yang sensitif terhadap konsumsi listrik. Membran RO ULP 4040 kapasitas 2000 gpd memakai desain modul membran spiral wound. Desain ini terdiri dari lapisan-lapisan membran yang dililitkan secara spiral disekitar inti pusat (Baker, 2019).

Membran RO ULP 4040 terbuat dari bahan poliamida tipis atau dikenal dengan sebutan *Thin Film Composite* (TFC). Bahan TFC memiliki kemampuan yang baik dalam menahan tekanan dan menghasilkan kualitas air permeat yang tinggi dengan rejeksi terhadap garam, mikroorganisme, serta kontaminan lainnya mencapai lebih dari 99% (Al Aani et al, 2017).

2.11 *Clean In Place* (CIP)

Pembersihan membran filtrasi sangat penting untuk menjaga kinerja serta umur panjang pada sistem membran. Dua metode yang umum digunakan dalam membersihkan memran filtrasi dari *fouling* ialah *backwash* dan *flushing*. *Backwash* ialah proses dimana aliran diputar balik untuk mengeluarkan kotoran dari permukaan membran. Sebaliknya, flushing langsung melibatkan penggunaan air

d

bersih untuk mengalirkan kotoran tanpa memutar arah aliran. *Backwash* lebih efektif dalam menghilangkan *fouling* yang disebabkan oleh material yang lebih berat seperti partikel besar dan biofilm karena adanya tekanan yang diberikan dapat membantu mengangkat kotoran dari pori – pori membran, akan tetapi memerlukan waktu lebih lama dan konsumsi energi yang lebih tinggi. Sebaliknya, *flushing* langsung lebih cepat dan efisien untuk menghilangkan partikel kecil serta kontaminan yang lebih mudah terlepas, tetapi tidak se efektif *backwash* dalam menangani *fouling* yang lebih berat (Yang et al., 2022). Bahan kimia yang digunakan adalah kombinasi asam oksalat dan soda api (NaOH). Asam oksalat berfungsi sebagai agen asam untuk melarutkan scaling anorganik seperti kalsium karbonat, kalsium fosfat, dan endapan logam (besi dan mangan). Soda api berperan sebagai agen basa yang efektif untuk melarutkan material organik seperti lemak, protein, biofilm, dan minyak.

Clean-In-Place (CIP) ialah metode pembersihan otomatis yang digunakan dalam sistem membran filtrasi tanpa perlu membongkar komponen sistem. CIP dirancang untuk membersihkan permukaan membran dari partikel, kotoran, atau *fouling* yang menempel selama proses filtrasi. Pembersihan permukaan membran dari *fouling* ini dilakukan dengan menggunakan bahan kimia atau air pada kondisi tertentu yang memungkinkan pembersihan berlangsung efektif.

- Ultrafiltrasi

  Untuk pembersihan ultrafiltrasi 4040 dibutuhkan volume air sekitar 10 hingga 30 liter per siklus. Sedangkan, untuk membersihkan menggunakan bahan kimia memerlukan volume air sekitar 50 – 100 liter karena melibatkan proses pembilasan tambahan untuk menghilangkan sisa bahan kimia dari membran (Liu et al., 2019). Membran UF 4040 biasanya membutuhkan pembersihkan berskala setiap 1 hingga 2 minggu tergantung pada kualitas air baku yang diproses serta tingkat *fouling* yang terjadi. Pembersihan pada membran UF akan dilakukan dengan cara *flushing* atau dicuci langsung. Membran yang akan digunakan dapat dibuka *housing* nya, sehingga dapat mencuci membran secara manual dengan tangan.
- Reverse Osmosis

d

Untuk pembersihan reverse osmosis tipe ULP 4040 diperlukan jumlah air sekitar 15 hingga 25 liter per siklus. Sedangkan, untuk pembersihan dengan bahan kimia membutuhkan volume air yang lebih besar karena melibatkan proses pembilasan kimia serta pembilasan ulang dengan air bersih untuk menghilangkan sisa bahan kimia pada membran. Volume yang dibutuhkan dalam pembersihan membran dengan bahan kimia ialah 50 hingga 100 liter (Zhao et al., 2019). Sama seperti UF, membran RO membutuhkan pembersihkan berskala setiap 1 hingga 2 minggu tergantung pada kualitas air baku yang diproses serta tingkat *fouling* yang terjadi. Dalam pembersihan membran RO tipe ULP 4040 biasanya dirancang untuk beroperasi dengan aliran *unidirectonal* yang dapat meminimilkan risiko kerusakan pada struktur membran. Penelitian menunjukkan bahwa backwash dapat mengakibatkan perubahan fisik pada membran RO yang dapat mengurangi performanya. Mesikupun ada potensi untuk melakukan *backwash* pada membran ULP 4040, tetapi harus dilakukan dengan sangat hati-hati untuk mencegah kerusakan. Sedangkan dengan metode *flushing* langsung dengan air bersih atau menggunakan bahan kimia pembersih dapat lebih aman menjaga perfomr membran RO (Al-Sharrani et al., 2023).

2.12 Pompa

Pompa yang akan digunakan pada perencanaan ini ialah pompa pendorong. Pompa pendorong pada sistem aliran air berfungsi untuk meningkatkan tekanan air sehingga dapat mengalir dengan kecepatan serta volume yang diinginkan. Pompa pendorong berkeja dengan prinsip dasar membantu fluida dari satu tempat ke tempat lain dengan meningkatkan tekanan. Pompa pendorong tidak dapat menghisap aliran air seperti dari sumur ataupun jarak yang cukup jauh. Dalam perencanaan ini, pompa pendorong berfungsi untuk menambahkan tekanan fluida untuk mememastikan air dapat melewati membran filtrasi yang memerlukan tekanan tertentu agar berfungsi secara efektif.

d

2.13 Pipa

Pipa PVC (*Polyvinyl Chloride*) ialah salah satu jenis pipa plastik yang sering digunakan dalam berbagai keperluan instalasi air. Pipa PVC tipe AW ialah jenis pipa yang dirancang untuk sistem tekanan tinggi, seperti untuk saluran air minum ataupun air bersih. Keunggulan pipa PVC AW ialah sifatnya yang ringan, mudah di instalasi/pasang, serta pipa nya yang tahan terhadap korosi dan bahan kimia. Bahan dasar PVC memiliki sifat inert, sehingga tidak mudah bereaksi dengan berbagai jenis zat kimia yang mungkin terdapat dalam air. Pipa PVC AW juga memiliki permukaan dalam yang halus, sehingga dapat mengurangi kehilangan tekanan akibat gesekaran aliran air. Permukaan halus pipa PVC AW mampu meingkatkan efisiensi aliran air, meningkatkan daya tahan sistem secara keseluruhan serta mengurangi potensi penyumbatan (Surya & Nugroho, 2020).

2.14 Aksesoris Perpipaan

- Pipa T (Tee)

  Tee ialah aksesoris pipa yang berbentuk T, dimana ini membuat pipa bercabang menjadi dua jalur aliran. Tee sering digunakan untuk distribusi fluida ke beberapa arah, terutama dalam sistem distribusi air. Tee dapat membantu membagi aliran utama ke beberapa cabang tanpa mengurangi tekanan signifikan.

- Pipa Elbow (Siku)

  Pipa elbow ialah salah satu aksesoris pipa yang berfungsi untuk mengubah arah aliran pada sudut tertentu, umumnya yaitu 45 atau 90 derajat. Elbow digunakan ketika aliran perlu diarahkan ke sudut yang berbeda dari jalur pipa lurus. Elbow sangat penting untuk sistem perpipaan yang kompleks dan membutuhkan banyakan belokan, seperti pada intalasi pengolahan air bersih untuk rumah tangga maupun gedung perkantoran.

- *Valve* (Stop Kran)

  Valve digunakan untuk mengontrol aliran fluida didalam pipa. Ada beberapa jenis *valve* seperti *ball valve*, *gate valve*, dan *check valva*, yang masing-masing memiliki mekanisme berbeda dalam mengatur aliran fluida. *Valve* sangat

d

penting dalam mengendalikan tekanan, laju aliran, dan arah aliran dalam sistem perpipaan.

- Water Mur

  Water mur ialah komponen dalam sistem perpipaan yang digunakan sebagai penyambung antara pipa dan fitting atau aksesoris lainnya. Water mur berfungsi untuk menjaga agar sambungan pipa tetap rapat serta tidak terjadi kebocoran ketika pipa terpasang. Water mur biasanya terbuat dari bahan plastik atau logam yang tahan terhadap korosi serta tekanan, sehingga dimana dapat digunakan dalam berbagai aplikasi perpipaan seperti instalasi air bersih. Water mu sangat mudah dipasang dan dilepas serta dapat sebagai pengencang pada sambungan pipa yang serih terkena tekanan atau getaran.

- Sock Drat

  Sok drat ialah salah satu jenis aksesoris pipa yang digunakan untuk menyambungkan dua pipa dengan metode drat. Sok drat memiliki ulir dibagian dalam atau luar, yang memungkinkan pipa-pipa dihubungkan dengan cara memutar ulir hingga kencang. Sok drat biasanya digunakan pada sistem perpipaan yang memerlukan sambungan yang kuat serta mudah dilepas dengan mudah tanpa perlu memotong pipa, sok drat sangat sering dipakai pada instalasi air bersih maupun air limbah. Sok drat juga membantu mencegah terjadinya kebocoran pada sambungan ulir dengan menggunakan tape khusus. Sok drat biasanya terbuat dari bahan PVC, baja, ataupun tembaga yang dimana dapat disesuaikan dengan jenis pipa yang digunakan.

2.15 Aksesoris Pembantu

- ***Pressure Gauge***

  Pressure gauge ialah alat yang digunakan untuk mengukur tekanan fluida dalam suatu sistem tertup seperti pada pipa ataupun tangki. Dalam perencanaan ini, *pressure gauge* digunakan untuk memantau tekanan pada aliran air yang akan menuju ke membran ultrafiltrasi dan reverse osmosis serta setelah melewati membran. *Pressure gauge* berfungsi untuk memantau sistem pada IPA ini beroperasi dalam rentang tekanan yang aman. *Pressure gauge* membantu sistem

d

IPA untuk memberikan informasi mengenai tekanan dalam suatu aliran untuk mencegah kerusakan akibat tekanan yang terlalu tinggi atau terlalu rendah. *Pressure gauge* dilengkapi satuan bar, psi, atau pascal, yang dimana operator dapat melakukan pengawasan dengan mudah dipahami.

- ***Gauge Valve***
  Gauge valve ialah katup yang digunakan untuk mengontrol aliran fluida menuju alat ukur tekanan atau *pressure gauge*. *Gauge valve* ini berfungsi untuk membuka serta menutup aliran fluida yang akan menuju ke air buangan hasil dari RO. *Gauge valve* memiliki peran penting dalam mengatur tekanan pada sistem RO. Apabila *gauge valve* dibuka secara penuh, maka aliran fluida pada RO tidak akan menghasilkan tekanan. Begitu sebaliknya, jika *gauge valve* ditutup secara perlahan, akan menghasilkan tekanan pada RO yang dimana ini dapat membantu air dalam proses filtrasi yang akan memasuki membran.
- ***Low Pressure Switch***
  Low perssure switch atau LPS ialah komponen sensor dalam sistem perpipaan atau mesin yang berfungsi untuk mendeteksi tekanan rendah pada aliran fulida. LPS secara otomatis akan menghentikan operasi pompa ketika tekanan dalam sistem menurun dibawah ambang batas yang telah ditentukan. LPS sering digunakan pada sistem pengolahan air untuk menjaga kinerja optimal serta mencegah gangguan pada pompa yang disebabkan karena tekanan nya yang rendah. LPS berfungsi sebagai alat proteksi dalam sistem perpipaan dan pompa untuk memastikan tekanan minimum terjada dan mencegah kerusakan akibat tekanan yang terlalu rendah melewati pompa.
- **Radar tangki**
  Radar tangki ialah alat pengukur yang menggunakan teknologi gelombang radar untuk memantau level air di dalam tangki. Radar tangki berfungsi untuk menghidupkan atau mematikan pompa secara otomatis berdasarkan level air yang terdeteksi. Dengan mengetahui tinggi permukaan air, sistem radar tangki dapat menghitung volume total isi tangki, yang berguna untuk mengelola produk yang dihasilkan dari proses IPA.
- ***Flow Switch***
  Flow switch dalam komponen pelengkap pompa ialah perangkat sensor yang

d

digunakan untuk mendeteksi aliran air dalam sistem perpipaan. *Flow switch* akan mengaktifkan ataupun mematikan pompa secara otomatis dengan berdasarkan ada atau tidaknya aliran air didalam pipa yang akan menuju ke pompa. *Flow switch* sangat berguna untuk melindungi pompa dari kerusakan akibat bekerja dalam kondisi kering (*dry running*) atau ketika aliran tidak mencukupi. *Flow switch* juga dapat meningkatkan efisiensi operasional serta memperpanjang umur pompa dengan mencegah pengoperasian diluar kondisi normal, sehingga pompa tidak beroperasi tanpa beban yang dapat menyebabkan *overheat* atau kerusakan.

- ***Flow* Meter**

  Flow meter pada sistem RO ialah alat yang digunakan untuk mengukur laju aliran air yang keluar dari hasil RO. *Flow* meter berperan penting dalam memantau kinerja sistem RO, *flow* metter memastikan bahwa aliran air berada pada rentang yang sesuai untuk mendapatkan hasil filtrasi optimal. *Flow* metter membantu dalam menjaga keseimbangan antara air umpan (*feedwater*) dan air hasil yang dihasilkan yaitu *permeate* dan air hasil buangan (*reject*) dalam proses RO. Tanpa pemantauan yang tepat menggunakan *flow* meter, ketidakseimbangan aliran dapat menyebabkan penurunan efisiensi sistem serta kerusakan pada membran RO akibat tekanan yang tidak sesuai.

- **Panel Control**

  Panel kontrol ialah perangkat yang digunakan untuk mengatur, memonitor, serta mengendalikan berbagai peralatan dan proses dalam sistem pengolahan air. Panel kontrol berfungsi sebagai pusat kendali yang mengintegrasikan berbagai komponen elektronik, mekanik, serta perangkat lunak yang memungkinkan operator untuk mengontrol sistem pengolahan air secara manual maupun otomatis. Panel kontrol juga dapat mendukung otomatisasi berbagai tahapan pengolahan air seperti misalnya pengendalian pompa, tekanan dan aliran air. Dengan menggunakan sensor dan aktuator, panel kontrol dapat menyesuaikan operasi sistem berdasarkan data *real time* untuk meningkatkan efisiensi dan konsistensi dalam pengolahan.

d

2.16 Penelitian Terdahulu

Dalam penelitian ini dilampirkan penelitian terdahulu yang dijadikan acuan sebagai referensi dalam pemilihan metode penelitian dan pengolahan data yang dilakukan. Dari penelitian yang telah dilakukan dapat disimpulkan bahwa semua penelitian berfokus pada proses daur ulang air limbah dengan penggunaan metode yang berbeda-beda. Berikut penelitian terdahulu di lampirkan pada Tabel 2.5 sebagai berikut.

d

Tabel 2.6 Penelitian Terdahulu

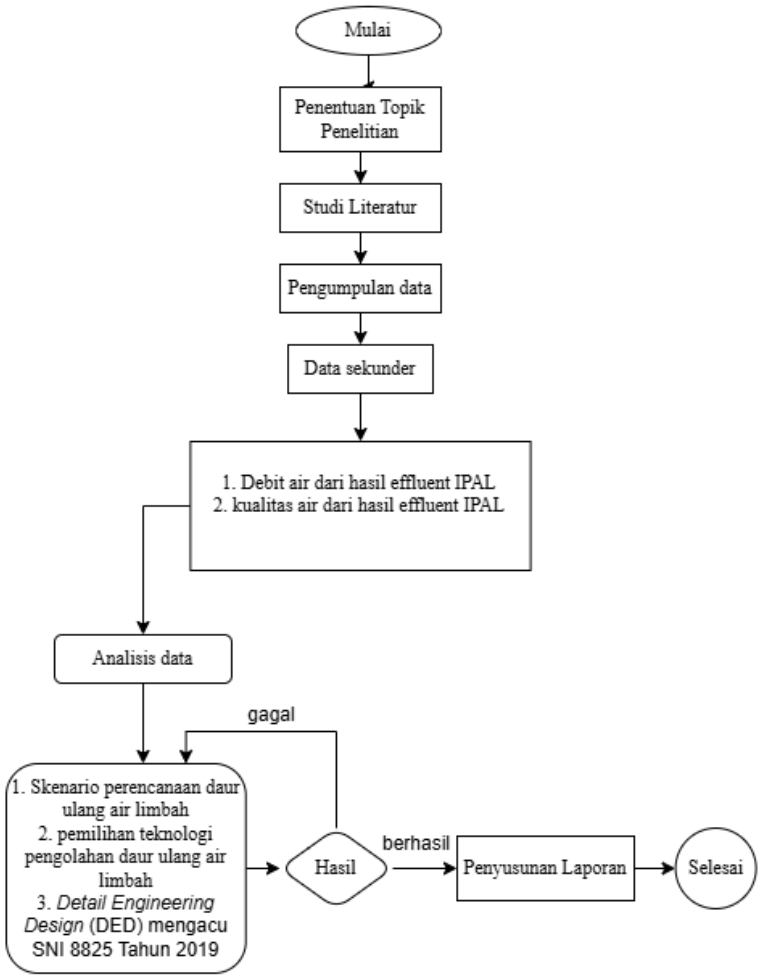
NO	Tujuan Penelitian	Metode Penelitian	Hasil Penelitian
(Yudo, dan Hernaningsih, 2010)			
1	Melakukan perencanaan desain teknologi daur ulang air limbah perkantoran dengan sasaran mendapatkan teknologi daur ulang air limbah yang tepat, dan dapat meningkatkan efisiensi penggunaan air.	Metode yang digunakan pada penelitian ini ialah metode analisis. metode analisis : survei lapangan untuk mengetahui jumlah pegawai yang ada, pemakaian air dan kondisi unit daur ulang air limbah yang digunakan saat ini, studi banding untuk identifikasi teknologi daur ulang air limbah yang dterapkan saat ini, dan menganalisis kondisi unit daur ulang untuk memproleh gambaran sistem pengelolaan daur ulang air limbah saat ini.	1. kondisi unit daur ulang air limbah saat ini tidak berfungsi dengan baik dan kualitas hasil air produk unit daur ulang air limbah saat ini tidak memenuhi syarat sebagai air bersih. 2. untuk meningkatkan kinerja unit daur ulang air limbah yang ada saat ini, perlu beberapa alternatif penanganan seperti : modifikasi dan perbaikan sistem serta penggantian peralatan 3. alternatif perencanaan teknologi daur ulang air limbah yaitu dengan kombinasi penyaringan (filter), penyaringan ditambah ultrafiltrasi dan reverse osmosis (RO).
(Witjaksono, dan Sururi, 2023)			
2	Untuk mengetahui dan mengevaluasi kondisi eksisting dari IPA babakan perumdam TKR meliputi kinerja Instalasi Pengolahan	Penelitian ini dimulai dengan survei di lapnang, kemudian dilanjutkan dengan pengumpulan data sekunder seperti kuantitas debit air baku, desain unit proses, gambar denah dan unit proses dari IPA babak, serta data kualitas air baku dan air distribusi. Asumsi dari data	Evaluasi dilakukan pada unit intake, screening, koagulasi dan flokulasi, sedimentasi, filtrasi, desinfeksi, dan reservoir. Unit pengolahan air IPA babakan secara umum sudah memenuhi standar kriteria desain dari saluran pembawa hingga ke reservoir. Ada beberapa unit proses yang tidak memenuhi kriteria desain berdasarkan observasi dan perhitungan evaluasi parameter desain yaitu flokulasi,

NO	Tujuan Penelitian	Metode Penelitian	Hasil Penelitian
	Air sera mengetahui kualitas pemenuhan kebutuhan konsumen pada IPA di Perumdam TKR	laporan IPA babakan digunakan untuk membandingkan data hasul evaluasi kondisi eksisting IPA terhadap kriteria desain yang bersumber dari berbagai literatur.	sedimentasi, dan filtrasi.
(Nugraha, DKK, 2020)			
3	Untuk memberi sumbangsi pemikiran dalam konsep pengolahan air limbah domestik agar dapat dimanfaatkan kembali sebagai penyedia air pada program pembangunan MCK	Penelitian ini menggunakan pendekatan kuantitatif dan kualitatif. Pendekatan kuantitatif : menghitung kebutuhan air dan buangan air limbah yang dihasilkan oleh masyarakat Pendekatan kualitatif : menjelaskan dan menganalisis fungsi-fungsi dari penerapan reaktor biofilter anaerob aerob dan tahap pengolahan lanjutan dalam mendaur ulang air limbah domestik agar bisa dimanfaatkan kembali	Tahap pengolahan limbah domestik dengan menggunakan reaktor biofilet anaerob-aerob terdiri meliputi proses penyaringan awal, pengendapan, proses anaerob, proses aerob, pengendapan akhir serta proses klorinasi. Adapun pada tahap pengolahan lanjutan agar air dapat berubah menjadi air bersih meliputi tahapan oksidasi, penyaringan dengan saringan pasir cepat, penyaringan dengan saringan mangan zeolite, penyaringan dengan karbon aktif, dan desinfeksi dengan sterilisator ultraviolet.
(Yeranda, dan Slamet, 2021)			
4	PT SIER berencana membangun sistem IPAL dengan memanfaatkan air effluen IPAL nya. Penelitian ini	Data yang digunakan dalam perencanaan pengolahan daur ulang effluen IPAL PT SIER menjadi air minum ini antara lain : Data primer : kualitas air baku (Effluen IPAL) untuk mengetahui karakteristik	1. sistem perencanaan yang terpilih dalam pengolahan effluen IPAL PT SIER menjadi air minum untuk kegiatan industri, unit operasi yang diperlukan antara lain : rapid sand filter dual media, ion *exchanger*, nanofiltrasi, dan chlorine gas disinfection dengan kapasitas pengolahan 2700 m3/hari

NO	Tujuan Penelitian	Metode Penelitian	Hasil Penelitian
	bertujuan untuk mendapatkan perkiraan unit operasi yang diperlukan, biaya investasi dan operasi perawatan	air baku yang akan diolah, wawancara dengan kepala IPAL SIER dan kepala divisi pengembangan PT SIER Data sekunder : data debit dan kualitas effluen IPAL untuk digunakan sebagai dasaran dalam pemilihan alternatif teknologi pengolahan, data kebutuhan air tenant yang tertarik membeli air hasil olahan untuk mengetahui debit pengolahan	2. biaya investasi yang diperlukan sebesar Rp464.289.037. Sedangkan biaya operasional pemeliharaan yang diperlukan dalam satau tahun adalah Rp436.387.676.
(Yudo, dan Nugroho, 2019)			
5	Membangun instalasi pengolahan air limbah menjadi air yang dapat digunakan kembali (daur ulang) guna memenuhi kebutuhan proses pencucian di industrinya	Metodologi yang digunakan adalah metode analisis data primer dan sekunder, telah pustaka, dan survery lapangan. Data primer : hasil analisa sampel kualitas air di beberapa titik yaitu di inlet ipal, outlet unit daur ulang air limbah dan outlet unit filtrasi membran RO Data sekunder : sumber air, neraca air, dan kualitas air	Permasalahan keterbatasan dan kualitas sumber air yang digunakan untuk proses produksi industri khususnya untuk pencucian kaleng dapat diatasi dengan menerapkan teknologi daur ulang air limbah di kombinasikan dengan IPAL sistem biofilter. Proses ini menggunakan teknologi proses biologi lumpur aktif, biofilter proses koagulasi, flokulasi, proses filtrasi, dan proses pemurnian dengan RO. Hasil analisa memenuhi persyaratan baku mutu air bersih dan setelah ditingkatkan kualitasnya dengan menggunakan proses RO dan hasil olahan nya setara air murni

BAB III
METODE PENELITIAN

Dalam Metode Penelitian dilakukan penyusunan tahapan penelitian. penyusunan ini bertujuan untuk dapat memberikan panduan dalam pelaksanaan penelitian dari tahap awal hingga tahap hasil akhir. Adanya tahapan penelitian ini diharapkan dapat memudahkan pelaksanaan penelitian dan mengurangi kemungkinan terjadinya kesalahan sehingga tujuan penelitian dapat tercapai dengan lebih baik. Berikut tahapan penelitian yang akan diilustrasikan dalam *flowchart*.



Gambar 3. 1 *Flowchart* tahapan penelitian

3.1 Metode Pengumpulan Data

Lokasi perencanaan dilakukan di PT X, Kabupaten Bekasi, Jawa barat. Tujuan metode pengumpulan data dalam penelitian ialah untuk mengumpulkan informasi dan fakta yang relevan sesuai dengan pertanyaan penelitian yang diajukan. Dengan mengumpulkan data yang tepat, peneliti dapat menganalisis serta menarik kesimpulan yang akurat tentang fenomena yang diteliti. Dalam penelitian ini tidak menggunakan data primer, hanya menggunakan data sekunder. Data sekunder yang didapatkan untuk perencanaan ini ialah data debit dan kualitas effluent IPAL untuk digunakan sebagai dasaran dalam pemilihan alternatif teknologi pengolahan daur ulang air limbah, serta studi literatur mengenai perencanaan pengolahan daur ulang air limbah. Studi literatur bertujuan untuk memperoleh acuan untuk perencanaan pengolahan daur ulang air limbah seperti contoh jurnal dan penelitian yang sudah dilakukan terdahulu guna sebagai sumber acuan dasar dan mengurangi risiko pada penelitian yang akan dilakukan serta standar nasional dan regulasi yang berlaku.

3.2 Teknik Pengumpulan Data

Pengumpulan data dilakukan menggunakan data sekunder yaitu mengetahui nilai debit dan kualitas air dari effluent IPALD, data tersebut nantinya akan digunakan sebagai *feedwater* dari perencanaan daur ulang air limbah serta sebagai acuan dasar untuk merubah kualitas air menjadi air bersih sesuai baku mutu. Beberapa Studi literatur terkait perencanaan daur ulang air limbah juga dikumpulkan sebagai acuan dan referensi untuk membuat perencanaan IPA menjadi efisien.

3.3 Metode Analisis Data

Tahapan analisis data dilakukan setelah melakukan tahapan pengumpulan seluruh data yang dibutuhkan saat proses pengolahan air limbah. Analisis data dilakukan untuk mengetahui kajian potensi daur ulang air limbah domestik serta perencanaan desain IPA yang efisien. Analisis data yang dilakukan meliputi beberapa aspek, diantaranya:

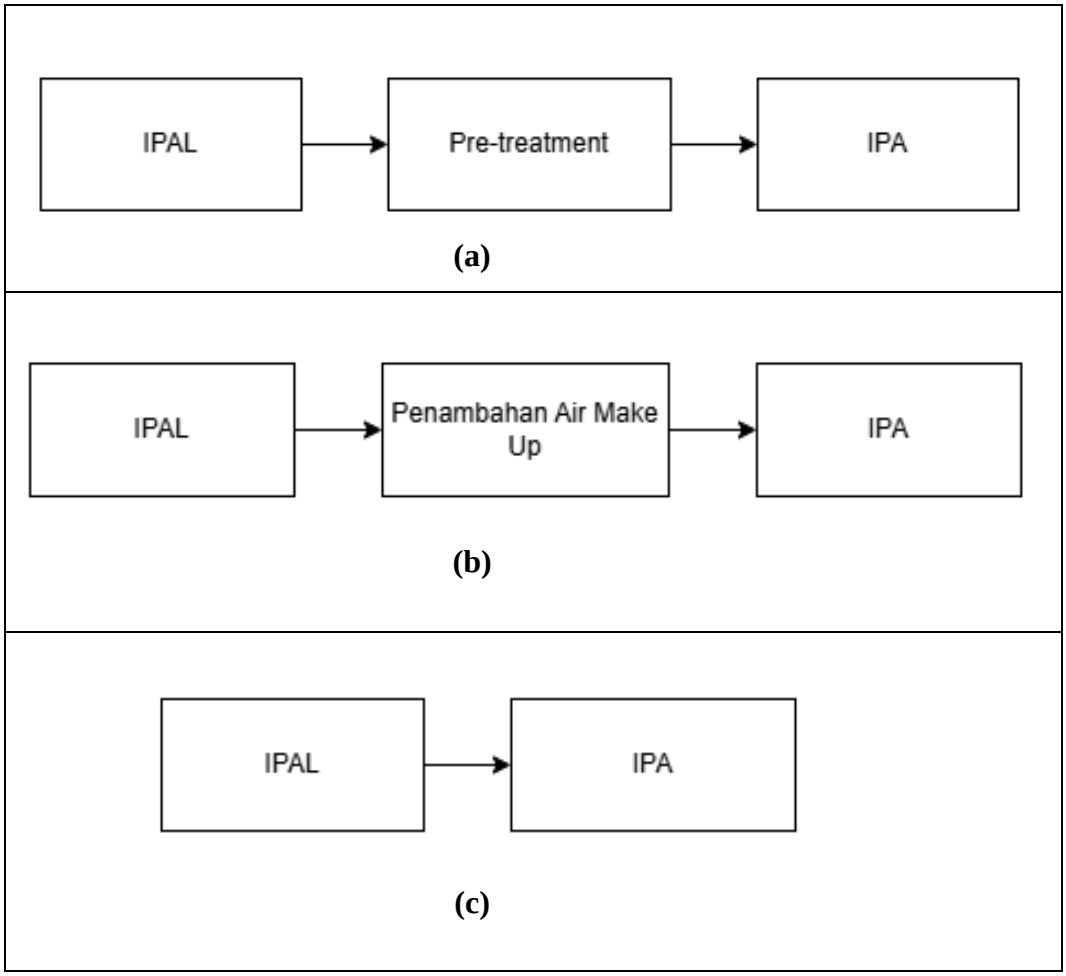
a. Debit air dan karakteristik *feedwater* pada perencanaan IPA

Nilai debit air dan karakteristik *feedwater* pada perencanaan pengolahan daur ulang air limbah didapatkan dari data sekunder hasil dari effluent IPALD di PT X. Debit air pada effluent IPALD merupakan parameter penting dalam perencanaan daur ulang air limbah untuk menentukan ukuran dan kapasitas tangki, serta memastikan bahwa sistem daur ulang air limbah dapat menangani volume aliran yang dihasilkan tanpa melampaui kapasitas desain. Karakteristik air limbah juga sangat penting untuk dipahami karena mempengaruhi proses pengolahan yang harus dilakukan agar air limbah dapat diolah dengan baik sebelum digunakan kembali sebagai air bersih.

b. Skenario daur ulang air limbah domestik

Skenario daur ulang air limbah domestik dilakukan untuk memilih strategi dan pendekatan yang efisien untuk memproses air limbah domestik sehingga dapat digunakan kembali sebagai air bersih. Berikut merupakan beberapa pemilihan skenario dalam perencanaan daur ulang air limbah domestik di PT X.

Pada gambar 3.2 bagian (a) yaitu dilakukan pre treatment sebelum dilakukan pengolahan IPA. Pre treatment ialah tahap awal pengolahan yang dilakukan untuk mempersiapkan air limbah sebelum masuk ke proses pengolahan utama. Tujuan pre *treatment* ini ialah untuk menghilangkan atau mengurangi kontaminan yang dapat mengganggu atau merusak peralatan pengolahan serta meningkatkan efisiensi dalam proses.



Gambar 3. 2 Pemilihan Skenario Daur Ulang Air Limbah

Pada gambar 3.2 bagian (b) yaitu dilakukan penambahan air *make up* dengan hasil air limbah di effluent IPALD (STP) dan sebelum masuk ke proses daur ulang air limbah domestik (IPA). Air *make up* digunakan untuk menggantikan air yang hilang agar sistem dapat beroperasi secara efisien. Penambahan air makeup juga penting untuk menjaga volume dan tekanan air yang konstan. Peran ini penting untuk sistem tetap stabil dan berfungsi dengan baik. Air *make up* bisa berasal dari air hujan yang dikumpulkan atau sumber air tawar jika diperlukan untuk memenuhi standar kualitas tertentu.

Pada gambar 3.2 bagian (c) yaitu setelah hasil air limbah dari effluent IPALD akan langsung dilakukan pengolahan lanjutan menuju daur ulang air limbah tanpa dilakukan pre *treatment* kembali ataupun penambahan air *makeup*.

c. Pemilihan teknologi pengolahan daur ulang air limbah domestik

Setelah Didapatkan hasil skenario daur ulang air limbah domestik di PT X, selanjutnya dilakukan pemilihan alternatif pengolahan yang baik dengan menggunakan metode skoring. Adapun kriteria yang diperhatikan yaitu:

- Efisiensi *removal*
- Ketersediaan lahan
- Biaya investasi
- Biaya operasional dan pemeliharaan
- Kebutuhan energi

d. *Detail Engineering Design* (DED)

Setelah mengetahui teknologi pengolahan yang akan digunakan, selanjutnya akan disusun *detail engineering design* (DED) dengan mengacu pada SNI 8825 tahun 2019 tentang spesifikasi dan desain sistem filtrasi membran. Tahap DED sangat penting untuk memastikan bahwa perencaan daur ulang air limbah domestik ini dapat dibangun sesuai dengan desain yang diinginkan, serta dalam anggaran yang telah ditentukan. Setelah selesai menyusun DED, kemudian dilakukan perhitungan biaya investasi yang diperoleh serta biaya pemeliharaan dan operasional terhadap hasil perencanaan dengan melakukan perhitungan BOQ (*Bill Of Quantity*) dan RAB (Rencana Anggaran Biaya).

BAB IV
HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 *Feedwater* IPA

Berikut merupakan data dari hasil kualitas air pada effluent IPALD di PT X.

Tabel 4. 1 Data Sekunder Hasil Effluent IPALD di PT X

No	Parameter Uji	Hasil			Satuan
		Juni	Juli	Agustus	
1	pH	7,86	8,23	8,99	-
2	BOD	9	6	6	mg/l
3	COD	31	20	20	mg/l
4	TSS	14	5	10	mg/l
5	Minyak dan Lemak	0,20	0,19	0,19	mg/l
6	Amonia Nitrogen	1	0,4	2	mg/l
7	Total Coliform	1700	540	310	MPN/100ml

Didapatkan data hasil effleunt IPALD selama 3 bulan dengan pengambilan data 1x setiap 1 bulan. Berikutnya akan dilakukan perhitungan rata – rata pada **lampiran 5.**

Tabel 4. 2 Nilai Rata-rata dari Hasil 3 Data

Parameter	Average	Unit
pH	8,36	-
BOD	7	mg/L
COD	23,70	mg/L
TSS	9,70	mg/L
Minyak dan Lemak	0,20	mg/L
Amoniak	1,10	mg/L
Total Coliform	850	CFU/100mL

Selanjutnya dilakukan penurunan parameter sesuai dengan standar kualitas air bersih yang berlaku. Berikut merupakan target kualitas air yang di inginkan.

Tabel 4. 3 Target Kualias Air Bersih

Parameter	Unit	Feed Water	Kadar Maksimum	Sumber
pH	-	8,36	6 - 9	**PP No. 22 Thn 2021 : Kelas 1**
BOD	mg/L	**7**	2	
COD	mg/L	**23,70**	10	
TSS	mg/L	9,70	40	
Minyak dan Lemak	mg/L	0,20	1	
Amoniak	mg/L	**1,10**	0,10	
Total Coliform	CFU/100mL	**850**	0	**PerMenKes No. 2 Thn 2023**

Pada tabel 4.3 dapat disimpulkan bahwa parameter BOD, COD, amoniak, dan total coliform masih di atas target dari baku mutu air bersih. Oleh karena itu, pada perencanaan ini akan dilakukan proses pengolahan daur ulang air limbah yang dapat mengurangi kandungan-kandungan tersebut menjadi dibawah baku mutu air bersih yang di inginkan.

4.2 Skenario IPA

Dalam perencanaan daur ulang air limbah domestik di PT X, dilakukan skenario yang paling efisien dari segi biaya investasi, kebutuhan lahan, dan teknologi yang digunakan saat proses pengolahan daur ulang air limbah. Dalam 3 pilihan skenario yang dibuat, didapatkan hasil yang paling efisien yaitu skenario dari hasil effluent IPAL domestik menuju langsung ke proses daur ulang air limbah (IPA). Berikut merupakan pemelihan skenario pada perencanaan daur ulang air limbah domestik di PT X.

Tabel 4. 4 Pemilihan Skenario Menggunakan Metode Skoring

Keterangan	Pembobotan	Skenario 1	Skenario 2	Skenario 3
		Skor	Skor	Skor
Biaya investasi	25%	1	2	3
Kebutuhan Lahan	25%	2	2	3
Biaya Operasional dan Pemeliharaan	50%	1	2	2
Skor Akhir	100%	1,25	2	2,50

Keterangan :
Skenario 1 = IPAL → Pre-treatment → IPA
Skenario 2 = IPAL → Air Make up → IPA
Skenario 3 = IPAL → IPA

Didapatkan skor akhir paling tinggi pada ke tiga pemilihan skenario adalah IPAL → IPA yaitu 2,5. Diketahui pada sistem akhir IPAL terdapat *sand* filter dan *carbon* filter, oleh karena itu tidak diperlukan pra treatment pada sistem daur ulang air limbah yang akan direncanakan. Perhitungan skor akhir beserta penjelasan nya untuk mendapatkan pilihan skenario yang akan digunakan dapat dilihat pada **lampiran 6.**

4.3 Pemilihan Teknologi IPA

Dilakukan pemilihan teknologi Dalam perencanaan IPA menggunakan pengolahan yang dapat menurunkan parameter BOD, COD, Amoniak, dan Total Coliform. Pengolahan akan meremoval parameter BOD sebesar 7mg/l, COD sebesar 23,7 mg/l, amoniak sebesar 1,1 mg/l, dan total coliform sebesar 850 MPN/100mL. Dalam perencanaan proses daur ulang air limbah ini akan menggunakan metode pengolahan membran filtrasi. Berikut merupakan pemilihan teknologi membran filtrasi yang akan digunakan.

Tabel 4. 5 Teknologi membran Dalam Menghilangkan Konstituen di Air Limbah

Constituent	***Membrane Technology***			
	MF	UF	NF	RO
Biodegradable Organics		√	√	√
Hardness			√	√
Heavy Metals			√	√
Nitrate			√	√
Priority organic pollutants		√	√	√
Synthetic organic compounds			√	√
TDS			√	√
TSS	√	√	√	√
Bacteria	√	√	√	√
Protozoan cysts and oocysts and helminth ova	√	√	√	√
viruses			√	√

Sumber : Mettcalf & Eddy, 2003

Dilakukan juga metode skoring perbandingan dari teknologi yang digunakan pada membran filtrasi. Berikut merupakan skoring untuk pemilihan teknologi membran filter:

Tabel 4. 6 Skoring Pemilihan Teknologi Membran Filter

Kriteria Pemilihan	**Pembobotan**	***Microfiltration***	***Ultrafiltration***	***Nanofiltration***	***Reverse Osmosis***
		Skor	**Skor**	**Skor**	**Skor**
Efisiensi *Removal*	30%	1	3	3	5
Ketersediaan Lahan	25%	2	4	3	3
Biaya investasi	15%	5	4	4	3
Biaya Operasional dan Pemeliharaan	20%	5	4	4	3
Kebutuhan Energi	10%	5	4	3	2
Skor Total	**100%**	**3,05**	**3,70**	**3,35**	**3,50**

Perhitungan skoring pada pemilihan teknologi IPA dapat dilihat pada **lampiran 7.** Didapatkan skor akhir paling tinggi pada ke empat teknologi tersebut

adalah *ultrafiltration* dan reverse osmosis. Jadi dapat disimpulkan untuk membran filtrasi menggunakan kombinasi *ultrafiltration* + reverse osmosis.

4.4 *Detail Engineering Design* (DED)

4.4.1 Beban Pengolahan dan Efisiensi *Removal*

Beban pengolahan ialah berbagai parameter serta faktor yang menentukan seberapa besar beban yang harus ditangani oleh suatu sistem dalam pengolahan air. Beban ini mencakup berbagai jenis kontaminan dan parameter yang mempengaruhi desain, operasional, dan efisiensi sistem pengolahan. Perhitungan beban pengolahan dari parameter yang akan masuk ke daur ulang air limbah dapat dilihat pada **lampiran 8.**

Tabel 4. 7 Beban Pengolahan Pada Parameter Daur Ulang Air Limbah

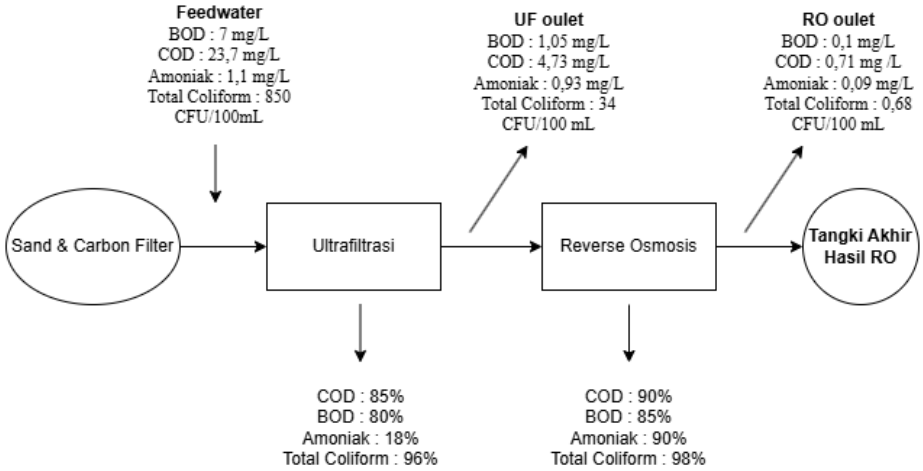
Parameter	***Feedwater***	**Unit**	**Debit Air Limbah (L/hari)**	**Beban Pengolahan (kg/hari), (CFU/hari)**
BOD	7	mg/L	11500	0,08
COD	23,70	mg/L	11500	0,27
Amoniak	1,10	mg/L	11500	0,01
Total Coliform	850	CFU/100mL	11500	97750

Efisien *removal* ialah menggambarkan presentase pengurangan suatu zat, polutan, atau partikel dalam proses pengolahan air. Efisiensi *removal* ini mengukur seberapa efektif suatu sistem dalam menghilangkan kontaminan dari media yang diolah. Perhitungan efisien *removal* dapat dilihat pada **lampiran 9.**

Tabel 4. 8 Efisien *Removal* Pada Parameter Daur Ulang Air Limbah

Parameter	**Influent**	**Ultrafiltrasi**		**RO**		**Baku Mutu**	**Sumber**	**Keterangan**
		%removal	***Out***	***%removal***	***Out***			
BOD	7 mg/L	85%	1,05 mg/L	90%	**0,10 mg/L**	2	PP No 22/2021 : Kelas 1	Sesuai Baku Mutu
COD	23,70 mg/L	80%	4,73 mg/L	85%	**0,71 mg/L**	10		
Amoniak	1,10 mg/L	18%	0,93 mg/L	90%	**0,09 mg/L**	0,10		
Total Coliform	850 CFU/100mL	96%	34 CFU/100 mL	98%	**0,68 CFU/100mL**	0	PerMenKes No 2/2023	

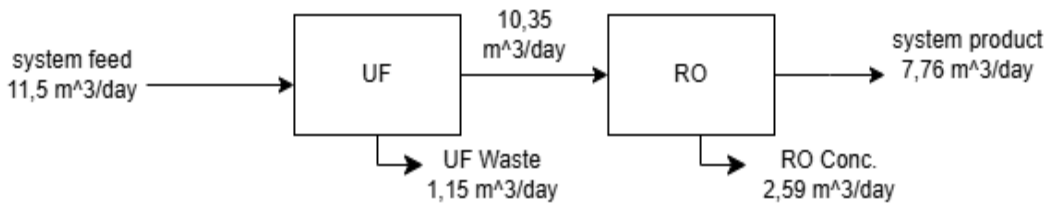
Setelah mengetahui nilai efisiensi removal pada parameter di setiap teknologi, dilakukan neraca massa untuk nilai konsentrasi di setiap proses IPA.



Gambar 4. 1 Neraca Massa Nilai Konsentrasi Dalam Proses IPA

4.4.2 *Recovery Rate* Membran

Perhitungan *recovery rate* dalam membran dapat dilihat pada **lampiran 10.** Berikut merupakan *flowchart* debit air pada sistem daur ulang air limbah.



Gambar 4. 2 Flowchart Debit Air Pada Sistem IPA

Setelah mengetahui nilai laju air *permeate* dan konsentrat, kemudian didapatkan nilai rasio reduksi volume (VR) dalam sistem UF yaitu 10 dan sistem RO 4. Volume larutan yang melewati sistem UF telah direduksi menjadi 1/10 dari volume awalnya dan konsentrasi zat terlarut disisi retentate menjadi 5 kali lebih tinggi daripada konsentrasi awal, serta begitu juga pada sistem RO. Perhitungan reduksi volume dapat dilihat pada **lampiran 10.**

Konsentrat total dari hasil perencanaan daur ulang air limbah ini ialah 3,7

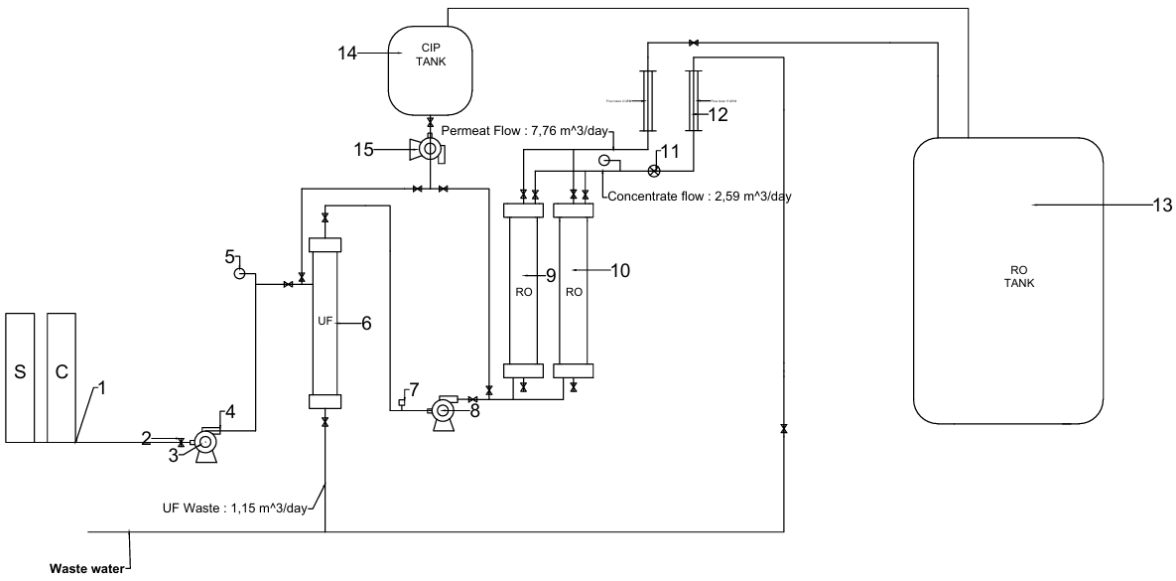
m3/day. Di rencanakan air konsentrat ini akan di alirkan kembali ke bak ekualisasi pada sistem IPAL untuk diolah kembali agar dapat menghilangkan polutan berbahaya.

Tabel 4. 9 Fungsi dan Dampak Penambahan Volume Air pada Sistem IPAL

Keterangan	Fungsi	Dampak
Air Konsentrat → Bak Ekualisasi	1. Memastikan aliran yang stabil dan teratur agar proses pengolahan tidak terganggu oleh lonjakan volume. 2. Bak ekualisasi memungkinkan pencampuran air limbah sehingga kualitas air lebih seragam.	1. Beban hidroilik pada sistem IPAL akan meningkat 2. kebutuhan energi meningkat 3. penyesuaian dosis kimiawi agar pengolahan dapat optimal

4.4.3 Perencanaan Desain Teknologi

Dalam membuat perencanaan desain ini, dilakukan pembuatan desain *flow* proses IPA secara 2 dimensi. Berikut merupakan gambar *flow* proses IPA.



Gambar 4. 3 *Flow* Proses IPA

Keterangan :

1. *Sand* Filter dan Carbon Filter pada Sistem IPAL
2. *Valve* (Stop Kran)

3. Pompa Shimizu PS 116 BIT
4. *Flow Switch*
5. *Pressure Gauge*
6. Membran Ultrafiltrasi PVDF 2000 Liter/*Hour*
7. *Low Pressure Switch*
8. Pompa CNP CDLF 2-22 1 PHASE 220 V
9. Membran Reverse Osmosis ULP 4040 (1)
10. Membran Reverse Osmosis ULP 4040 (2)
11. *Gauge Valve*
12. *Flow* Metter
13. Tangki Hasil Akhir RO + Radar Tangki
14. CIP (memakai ember kapasitas 50 L)
15. Pompa Pendorong + Mesin Otomatis

4.4.3.1 Ultrafiltrasi PVDF 2000 LPH

Ultrafiltrasi yang akan digunakan dalam perancanaan ini ialah ultrafiltrasi PVDF dengan kapasitas 2000 Liter per Hours. Berikut merupakan gambar ultrafiltras PVDF 2000 LPH.



(a) *Housing* UF

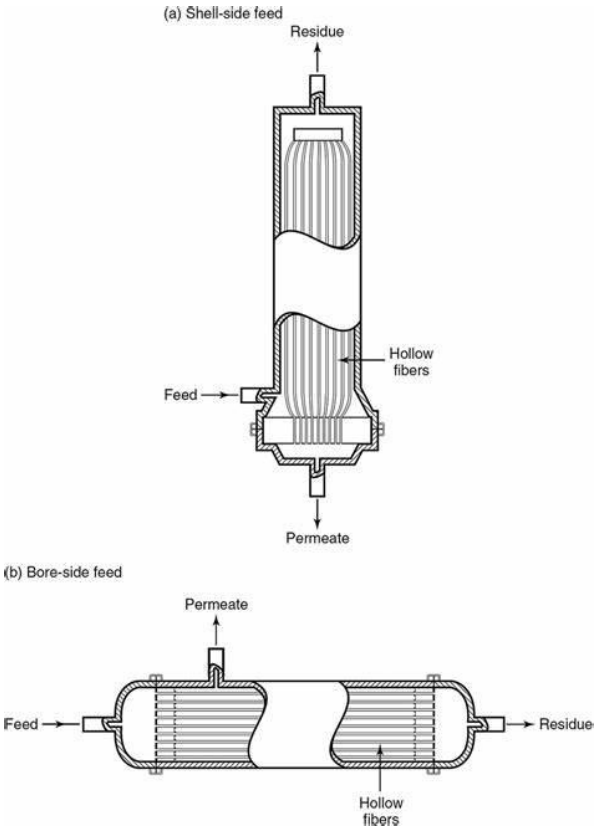


(b) Membran Hollow Fiber UF

Gambar 4. 4 Ultrafiltrasi PVDF Kapasitas 2000 LPH

Sumber : Jual Ultrafiltrasi PVDF Water Pre Filter 2000 LPH - - ELIM FILTER | Tokopedia

Kemudian, berikut merupakan gambar desain modul hollow fiber pada ultrafiltrasi PVDF 2000 LPH



Gambar 4. 5 Modul Hollow Fiber Pada Membran Ultrafiltrasi

Sumber : Wenten DKK, 2014

Berikut merupakan perhitungan desain membran ultrafiltrasi yang akan digunakan pada perencanaan ini.

Tabel 4. 10 Perhitungan Desain Ultrafiltrasi

Kriteria Desain Ultrafiltrasi		
Parameter	**Kriteria Desain**	**Sumber**
Stuktur Operasi (ukuran pori)	Mesopori (2-50 nm)	Metcalf & Eddy, 2003
Range Operasi Tipikal	0,005 –0,20 μm	
Tekanan	70 - 700 kPa	
Kebutuhan Energi	kWh/3 m^3	
Flux	405 - 815 L/m^2d	
Bentuk Pori	Asimetris	
Spesifikasi Unit Membran Ultrafiltrasi		
Parameter	**Jumlah**	**Unit**
Material : ***Poliviniliden Fluorida* (PVDF)**		
*Housing Membrane : **Stainless Steel***		
Panjang (L)	52	cm
Diameter	15	cm
Volume permeat (V)	431,25	L
Waktu (t)	1	hours
Desain Modul = **Hollow Fiber**		
Bentuk Pori = asimetris		
Ukuran Pori	0,01	mikron
Jumlah Serat (N)	5000	buah
Diameter luar serat (Dout)	2	mm
Panjang Serat (L)	800	mm
Luas Permukaan Membran (A)	25120000	mm^2
	25,12	m^2
Data Perencanaan		
Fluks Volume (Jv)	17,17	L/m^2.h
	412,02	L/m^2.d
Rejeksi BOD (%)	85%	
Rejeksi COD (%)	80%	
Rejeksi Amoniak (%)	18%	
Rejeksi Total Coliform (%)	95%	

Dilakukan perhitungan nilai flux dan rejeksi pada membran ultrafiltrasi. Fluks ialah jumlah volume permeat yang diperoleh pada operasi membran per satuan waktu per luas permukaan membran. Rejeksi ialah ukuran kemampuan membran untuk memisahkan komponen tertentu dari aliran umpan. Perhitungan nilai fluks dan rejeksi membran ultrafiltrasi dapat dilihat pada **lampiran 11.**

4.4.3.2 Reverse Osmosis ULP 4040

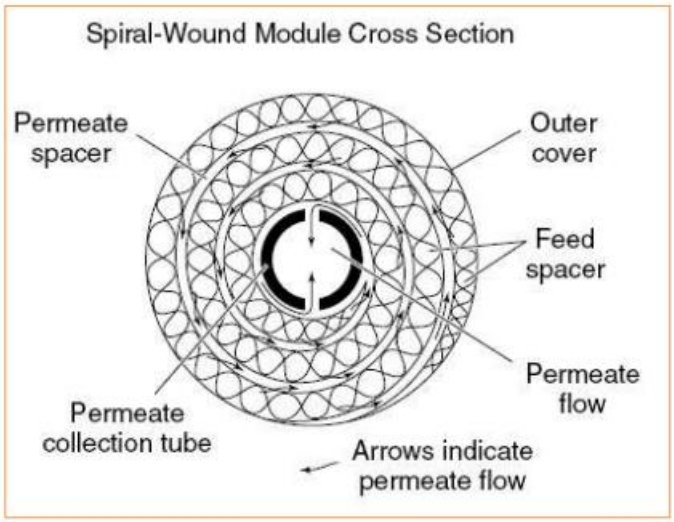
Membran RO yang akan digunakan pada perencanaan ini menggunakan jenis ULP 4040 dengan kapasitas 2000 gallon per *day* (GPD) atau setara dengan 7560 liter per hari. Berikut merupakan gambar dari reverse osmosis jenis ULP 4040.



Gambar 4. 6 Membran Reverse Osmosis ULP 4040

Sumber : Jual Membran RO 2000 GPD - ULP 4040 - Kota Surabaya - Aermart | Tokopedia

Kemudian, berikut merupakan desain modul spiral wound pada reverse osmosis ULP 4040.



Gambar 4. 7 Modul Spiral Wound Pada Membran Reverse Osmosis

Sumber : Wenten DKK, 2014

Berikut merupakan perhitungan desain membran reverse osmosis yang akan digunakan pada perencanaan ini.

Tabel 4. 11 Perhitungan Desain Reverse Osmosis

Kriteria Desain Reverse Osmosis		
Parameter	**Kriteria Desain**	**Sumber**
Stuktur Operasi (ukuran pori)	Dense (<2 mm)	Metcalf & Eddy, 2003
Range Operasi Tipikal	0,0001 - 0,001 μm	
Tekanan	860 - 7000 kPa	
Kebutuhan Energi	10,20 kWh/m^3	
Flux	320-490 L/m^2d	
Bentuk Pori	Asimetris/komposit	
Spesifikasi Unit Membran Reverse Osmosis		
Parameter	**Jumlah**	**Unit**
Material : ***Thin Film Composite* (TFC)**		
Housing Membrane : ***Stainless Steel 304***		
Panjang (L)	40	inchi
Diameter	4	inchi
Volume permeat (V)	3881,25	L
Waktu (t)	1	day
Desain Modul = Spiral Wound		
Bentuk Pori = asimetris		
Ukuran Pori	0,001	mikron
Jumlah lapisan gulungan	30	lapisan
Diameter	0,10	m
Panjang (L)	1,02	m
Luas Permukaan	6,19	m^2
Data Perencanaan		
Fluks Volume (Jv)	626,70	L/m^2.d
Rejeksi BOD (%)	90%	
Rejeksi COD (%)	85%	
Rejeksi Amoniak (%)	90%	
Rejeksi Total Coliform (%)	97%	

Dilakukan perhitungan nilai flux dan rejeksi membran reverse osmosis pada **lampiran 12**. Dalam perencanaan ini volume air yang dihasilkan saat melewati RO adalah 7762liter/hari (melebihi kapasitas dari membran RO ULP 4040), maka akan dilakukan penambahan 1 unit membran RO ULP 4040 dan dipasang secara pararel. Pemasang pararel ini dilakukan agar dapat meningkatkan kapasitas aliran karena setiap modul membran menangani sebagian dari aliran total. Dengan menambahkan

1 unit, membran RO ULP 4040 akan mampu untuk memproses fluida dalam jumlah yang lebih besar dengan beban tekanan yang lebih rendah pada setiap membran.

4.4.3.3 Clean In Place (CIP)

Metode CIP akan menggunakan ember kapasitas 50 L dengan P x L x T = 40 x 40 x 53 cm untuk menampung air bersih yang akan digunakan sebagai pembersih membran. Alasan mengapa menggunakan ember 50 L dalam proses CIP adalah karena sederhana dan murah. Ember mudah diakses dan dapat digunakan untuk sirkulasi larutan pembersih serta dapat dengan mudah memantau dan mengontrol proses pembersihan (Raja Qorizam, 2022). Berikut merupakan perhitungan penggunaan air bersih untuk membran ultrafiltrasi dan reverse osmosis.

Tabel 4. 12 Kebutuhan Air Bersih CIP

Ultrafiltrasi		
Keterangan	**Jumlah**	**Unit**
Kebutuhan Air	50	L/2 minggu
	100	L/1 bulan
	1200	L/1 tahun
Reverse Osmosis		
Keterangan	**Jumlah**	**Unit**
Kebutuhan Air	50	L/2 minggu
	100	L/1 bulan
	1200	L/1 tahun
TOTAL	**2400**	L/1tahun

Bahan kimia yang akan digunakan dalam proses CIP ini ialah kombinasi asam oksalat dan soda api (NaOH). Masing – masing setiap bahan kimia digunakan sebanyak 1 kg setiap proses pembersihan membran (Si Tukang Air Medan, 2024). Dosis yang digunakan asam oksalat dan soda api yaitu 3% dalam larutan air, dengan waktu kontak 60 menit pada suhu 30-40 $°C$ (Al-weshahi et al, 2021).

4.4.3.4 Pompa

Pompa pendorong yang akan digunakan dalam perencanaan ini ialah pompa air pendorong otomatis shimizu PS 116 BIT + MC pendorong untuk menambah tekanan air agar dapat melewati unit membran ultrafiltrasi, pompa CNP CDLF 2-22 1PHASE 220V untuk menambah tekanan air agar dapat melewati 2 unit membran reverse osmosis secara paralel, serta pompa pendorong tekanan air 100 watt mesin pompa otomatis untuk mencuci membran ultrafiltrasi dan reverse osmosis agar membran tidak mudah *fouling* serta pemakaian dapat tahan lama.



(a) Pompa Shimizu PS 116 BIT



(b) Pompa CNP CDLF 2-22



(c) Pompa Pendorong Tekanan Air 100 Watt

Gambar 4. 8 Jenis-Jenis Pompa yang digunakan Pada Perencanaan IPA

Sumber : Promo Pompa Pendorong Tekanan Air Booster Pump 100 Watt Mesin Pompa Otomatis - 100W - Kab. Tangerang - Nan Wei | Tokopedia

Ketika dalam kondisi *emergency* / mati listrik solusi yang akan dilakukan ialah memakai generator cadangan (genset) serta menampung volume air yang akan masuk pada bak ekualisasi di sistem IPAL. Selanjutnya, perhitungan tekanan pompa dapat dilihat pada **lampiran 13.** Berikut merupakan spesifikasi pompa-pompa yang akan digunakan dalam perencanaan ini.

Tabel 4. 13 Spesifikasi Pemakaian Pompa

Pompa Shimizu PS 116 BIT + MC pendorong	**Pompa CNP CDLF 2-22 1PHASE 220V**	**Pompa pendorong +mesin pompa otomatis**
Daya : 125 watt	Daya listrik : 2,20 kW (3 HP)	Mendorong jarak :15 meter
Tegangan :220 Volt / 50 Hz	Voltase : 220V,10 fase	Meningkatkan volume :12 L/menit
Dimensi (P x L x T) 47,50 cm x 22,50 cm x 21 cm	Daya dorong maks : 165 meter	Daya maks : 100 watt
Daya hisap maks : 9 meter	Kapasitas 2 m^3/jam	Aliran : 0, 80 m^3/jam
Daya pancar maks : 33 meter	Pipa inlet dan outlet : 11/4 inch	Tegangan :220V 50/60Hz
Kapasitas maks : 30 l/menit	material : *stainless steel* 304	Kecepatan 2860 rpm
Arus Maks : 3,90 Ampere	Tekanan : 1618650 Pa / 16,10 bar	Saat ini :0,47 A
Total *Head Maks* : 30 M		Kelas Isolasi :E
Pipa hisap 1 inch		Kapasitas :3.0uF
Pipa Dorong 1 inch		Kelas Perlindungan :IP20
Tekanan : 294300 Pa / 2,90 bar		Diameter :15mm
		Tekanan : 147150 Pa / 1,40 bar

4.4.3.5 Perpipaan

Pipa PVC (*Polyvinyl Chloride*) ialah salah satu jenis pipa plastik yang sering digunakan dalam berbagai keperluan instalasi air. Berikut Merupakan gambar PIPA jenis PVC rucika AW.



Gambar 4. 9 Pipa PVC Rucika AW

Sumber : Jual Pipa Pvc Rucika Standard Ukuran 3 inch AW putih - Kota Bekasi - Toko Madju | Tokopedia

Kemudian, berikut merupakan perhitungan kebutuhan diameter dan panjang pipa PVC pada perencanaan IPA yang akan dilakukan ini.

Tabel 4. 14 Perhitungan Kebutuhan Diameter dan Panjang Pipa PVC

Titik		**Diameter Pipa**	**Panjang Pipa**
Dari	**Ke**		
Tangki Feedwater	Pompa Booster 1	1 inchi	3 meter
Pompa Booster 1	Ultrafiltrasi	1 inchi	2 meter
Ultrafiltrasi	Pompa Booster 2	1 inchi	2,50 meter
Ultrafiltrasi	Waste Water	3/4 inchi	2,50 meter
Pompa Booster 2	Reverse Osmosis 1 dan 2	3/4 inchi	0,60 meter
Reverse Osmosis 1 dan 2	Waste Water	3/4 Inchi	4,20 meter
Reverse Osmosis 1 dan 2	tangki hasil akhir	1/2 inchi	2,10 meter
CIP ember 50 L	Ultrafiltrasi	3/4 inchi	3,10 meter
CIP ember 50 L	Reverse Osmosis 1 dan 2	3/4 inchi	2,20 meter

Kemudian, dilakukan perhitungan kecepatan aliran pada pipa sebelum mempertimbangkan tekanan pada pompa.

Tabel 4. 15 Kecepatan Aliran Pipa Per Ukuran Pipa

Keterangan	**Ukuran Pipa**			**Unit**
	1 inchi	**3/4 inchi**	**1/2 inchi**	
Debit Aliran (Q)	0,00013			m^3/s
Diamater Pipa	0,03	0,02	0,01	m
Luas Penampang (A)	0,00051	0,00028	0,00013	m^2
Kecepatan Aliran (v_0)	0,26	0,47	1,05	m/s

Berikut merupakan nilai percepatan pipa setelah mempertimbangkan tekanan pada pompa.

Tabel 4. 16 Kecepatan Aliran Pipa Setelah Melewati Pompa

Pompa		
Jenis Pompa	**Kecepatan aliran**	**Unit**
V tekanan pompa 1 (menuju ke ultrafiltrasi)	24,30	m/s
V tekanan pompa 2 (menuju ke reverse osmosis)	56,90	m/s
Kecepaatan Aliran Total		
V0 + V tekanan pompa 1	24,50	m/s
V0 + V tekanan pompa 2	58,40	m/s

Perhitungan kecepatan aliran pipa pada proses pembersihan membran melalui CIP ember 50 liter.

Tabel 4. 17 Kecepatan Aliran CIP Ember 50 L

Pompa		
Jenis Pompa	**Kecepatan aliran**	**Unit**
V tekanan pompa 3	17,20	m/s
Kecepatan Aliran Total		
V0 + V tekanan pompa 3	17,60	m/s

Perhitungan kecepatan aliran pipa baik sebelum dan sesudah melalui pompa pada saat operasional IPA serta operasional pembersihan membran dapat dilihat pada **lampiran 14.**

Dalam sistem perpipaan juga memiliki beberapa jenis pembantu/aksesoris untuk mempermudah instalasi atau pemakaian dalam mengalirkan fluida. Berikut merupakan jenis-jenis aksesoris pada perpipaan.



(a) Pipa Tee



(b) Pipa Elbow



(c) Valve



(d) Water Mur



(e) Sock Drat

Gambar 4. 10 Aksesoris Perpipaan

Sumber : Jual Sambungan Pipa PVC drat Kuningan YORK / Drat Dalam Kuningan/ Tee PVC drat Kuningan/ Sock PVC drat Kuningan/ Knee PVC drat Kuningan/ Sambungan pipa paralon pakai drat/ sambungan pipa pvc/sambungan pipa air ke kran/ tee york/ knee york/ sock york - TEE PVC 1/2 - Kota Malang - BeeNine Sanitary | Tokopedia

Berikut merupakan jumlah total aksesoris pada sistem perpipaan yang dibutuhkan dalam perencanaan IPA ini.

Tabel 4. 18 Jumlah Aksesoris Pipa

Keterangan	Diamater Pipa	Jumlah (buah)
pipa elbow (belok)	1" x 1"	6
	3/4 x 3/4	12
	1/2 x 1/2	2
pipa t	1/2 x 3/4 x 3/4	
	1" x 1" x 3/4	1
	3/4 x 3/4 x 3/4	4
	1/2 x 1/2 x 1/2	2
stop keran	1" x 1"	3
	3/4 x 3/4	6
	1/2 x 1/2	1
water mur	1" x 1"	5
	3/4 x 3/4	7
	1/2 x 1/2	2
sock drat	1" x 1" luar	2
	1" x 3/4 dalam	2
	3/4 x 3/4 dalam	1
	1" x 11/4 luar	1
	11/4 x 3/4 luar	1
	3/4 x 3/4 luar	4
	1/2 x 1/2 luar	4
	1/2 x 3/4 luar	2

4.4.3.6 Tangki Akhir Hasil RO

Air limbah yang telah melewati membran reverse osmosis akan menghasilkan 2 aliran, yaitu aliran air bersih (permeat) dan aliran air buangan (reject). Aliran hasil air buangan akan menuju ke pengolahan air limbah kembali (IPAL) serta aliran air bersih akan dimasukkan ke tangki akhir hasil RO. Tangki akhir hasil RO yang akan digunakan yaitu Tandon air merpati berkapasitas 3000 liter. Tangkir air ini berdiameter 145 cm dan tinggi 220cm. Tangki ini juga tahan terhadap sinar matahari dan segala cuaca, tahan terdahap lumut, kuat dan tidak berbau.



Gambar 4. 11 Tangki Air Merpati

Sumber : Jual Tangki air 250 liter Merpati , Toren Air, Tandon Air - Tanpa Radar - Kota Tangerang - Tangkiku | Tokopedia

4.4.3.7 Aksesoris Lainnya

Pada sistem perencanaan IPA ini, dilakukan juga penambahan aksesoris agar proses menjadi lebih efisien. Penambahan aksesoris ini antara lain *pressure gauge*, *gauge valve*, *low pressures switch*, radar tangki, *flow switch*, *flow* metter, dan panel control.



(a) Pressure Gauge



(b) Gauge Valve



(c) Low Pressure Switch



(d) Radar Tangki



(e) *Flow Switch*



(e) *Flow* Meter



(f) Panel Kontrol

Gambar 4. 12 Aksesoris Pembantu

4.4.3.8 Kebutuhan Lahan

Kebutuhan lahan ialah salah satu aspek penting yang harus diperhatikan dalam perencanaan dan pembangunan infrastruktur IPA ini. Ketersediaan lahan yang memadai berpengaruh langsung terhadap efisiensi, kapasitas, dan efektivitas pengolahan air. Berikut merupakan perhitungan penggunaan lahan dalam perencanaan IPA kali ini.

Tabel 4. 19 Perhitungan Kebutuhan Lahan

Keterangan	Luas	Unit
pompa 1	0,11	m^2
pompa 2	0,50	m^2
pompa 3	0,10	m^2
ultrafiltrasi	0,03	m^2
reverse osmosis	0,02	m^2
Tangki akhir RO	1,37	m^2
ember 50L	0,16	m^2
jalur perpipaan	9,44	m^2
Total Luas Lahan	**11,72**	**m^2**

4.5 BOQ dan RAB

BOQ dan RAB berfungsi untuk merencanakan dan mengontrol biaya dengan memastikan proyek berjalan sesuai dengan anggaran yang telah ditetapkan. Perhitungan BOQ dan RAB dapat dilihat pada **lampiran 15.** Didapatkan hasil *capital expenditure* (CAPEX) dari keseluruhan perencanaan pembangunan IPA ialah sebesar Rp 19.081.536. Kemudian, didapatkan hasil *operational expenditure* (OPEX) dari biaya listrik dan pemeliharaan dalam perencanaan IPA di PT X ialah Rp. 2.937.274 selama 1 bulan. Kondisi membran akan bertahan sampai 3 – 4 tahun sampai penggantian membran baru kembali, tergantung perawatan yang rutin. Menyangkut kelistrikan saat kondisi mati listrik operasional akan mengalami mati sementara, oleh karena itu dilakukan solusi seperti menggunakan generator cadangan (genset) ataupun menahan volume air limbah yang akan masuk pada bak ekualisasi di sistem IPAL.

4.6 Potensi Perencanaan Pembangunan IPA

Diketahui PT.X berlokasi di daerah Kabupaten Bekasi, berikut merupakan harga air bersih PDAM di Kabupaten Bekasi.



NO	GOLONGAN PELANGGAN	TARIF AIR MINUM M³ BERDASARKAN KONSUMSI PEMAKAIAN					
		TARIF LAMA			TARIF BARU		
		0 - 10 M³	11 - 20 M³	>21 M³	0 - 10 M³	11 - 20 M³	>21 M³
1.	**Sosial**						
	1. Sosial Umum	1.300	1.300	1.300	1.300	1.300	1.300
	2. Sosial Khusus	1.400	1.400	1.400	1.400	1.400	1.400
2.	**Rumah Tangga**						
	1. Rumah Tangga 1 (Kecil)	4.100	4.800	5.600	4.100	4.800	5.600
	2. Rumah Tangga 2 (Sedang)	4.400	6.700	7.400	4.400	6.700	7.400
	3. Rumah Tangga 3 (Besar)	6.300	9.000	11.100	6.300	10.400	13.200
	4. Rumah Tangga 4 (Mewah)				10.400	13.200	14.500
3.	**Non Niaga**						
	Instansi Pemerintah	4.400	6.700	7.400	4.400	6.700	7.400
4.	**Niaga**						
	1. Niaga Kecil	8.100	9.700	11.800	10.400	13.200	14.500
	2. Niaga Sedang	8.400	13.000	14.000	13.200	14.500	16.200
	3. Niaga Besar	9.300	14.000	15.800	14.500	16.200	17.900
5.	**Industri**						
	1. Industri Kecil	10.200	14.900	16.700	16.200	17.900	18.900
	2. Industri Sedang	11.200	15.800	17.700	17.900	18.900	19.900
	3. Industri Besar	12.100	17.700	18.600	18.900	19.900	20.900
6.	**Khusus**						
	1. Curah		4.700			7.000	
	2. Mobil Tangki		18.600			50.000	

NO	DIAMETER WATER METER	BEA ADM	PPN 11%
1	1/2	6.000	660
2	3/4	19.500	2.145
3	1	28.600	3.146
4	1 1/2	55.000	6.050
5	2	114.600	12.606
6	3	123.800	13.618
7	4	263.500	28.985
8	6	286.500	31.515
9	8	575.200	63.272
10	10	730.000	80.300
11	12	1.235.000	135.850
12	16	1.350.000	148.500

Gambar 4. 13 Harga Air Bersih PDAM di Kabupaten Bekasi

Mengacu pada Gambar 4.3, berikut merupakan potensi perencanaan pembangunan IPA di PT.X.

Tabel 4. 20 Perhitungan Potensi Perencanaan IPA

Harga Air PDAM di Kabupaten bekasi				
Keterangan	**Jumlah**	**Unit**	**Harga**	
Harga Air PDAM	1	m^3	Rp	19.900
Daur Ulang Air Limbah di PT.X				
Menghasilkan Air Bersih	7,76	m^3 / hari	Rp	154.424

Diketahui harga yang dibutuhkan PT X dalam pembelian air bersih di PDAM yaitu Rp 19.900 / 1 m^3. Pada pengolahan di IPA didapatkan air bersih selama 1 hari yaitu 7,76 m^3/hari, dimana jika dikonversikan menjadi harga pembelian air bersih di PDAM yaitu Rp 154.424 per hari atau Rp. 4.628.740 per bulan nya.

Setelah dilakukan perhitungan pendapatan keuangan yang didapat selama 1 bulan dari pembangunan IPA, selanjutnya didapatkan perhitungan ke untungan/profit dimulai setelah 1 tahun 1 bulan sejak operasional IPA yaitu sebesar Rp. 1.691.466 per bulan nya, perhitungan ini telah termasuk pengurangan dari biaya investasi pembangunan IPA sebesar Rp. 19.081.536. Untuk perhitungan detail nya tentang keuntungan yang didapat dari pembangunan IPA dapat dilihat pada **lampiran 16.**

BAB V
KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil perencanaan mengenai pembangunan daur ulang air limbah domestik menjadi air bersih di PT X, Kabupaten Bekasi dapat diambil kesimpulan sebagai berikut :

1. Dalam perencanaan pembangunan daur ulang air limbah menjadi air bersih di PT.X menggunakan skenario hasil dari IPAL menuju langsung ke IPA. Teknologi yang digunakan ialah 1 unit membran ultrafiltrasi tipe PVDF 2000 LPH sebagai pre filter dari 2 unit membran reverse osmosis tipe ULP 4040. Nilai konsentrasi pada air limbah setelah melalui proses IPA menghasilkan BOD = 0,10 mg/L, COD = 0,71 mg/L, amoniak = 0,09 mg/l, total coliform = 0,68 CFU/100mL. Volume air yang diperoleh dari hasil pengolahan IPA adalah 7,76 m^3/hari dengan biaya pembangunan IPA sebesar Rp 19.081.536.
2. Potensi dari perencanaan pembangunan IPA ini ialah dapat mengurangi pencemaran dan menjaga kualitas air di lingkungan akuatik dan sekitarnya, mengurangi kebutuhan air bersih dari pembelian air di PDAM dengan cara me manajemen air dari air buangan yang kemudian diolah menjadi air bersih untuk dapat digunakan kembali. PT.X setelah melakukan pembangunan IPA akan menghemat pembeli air dari PDAM sekitar 7,76 m^3/hari dengan harga Rp 154.424 dan akan mulai menghasilkan keuntungan pada 1 tahun 1 bulan setelah operasional IPA sebesar Rp 1.691.466 per bulan nya.

5.2 Saran

Berdasarkan perencanaan yang telah dilakukan, terdapat beberapa saran yang bisa diberikan yaitu sebagai berikut :

1. Dalam perencanaan pembangunan IPA selanjutnya, sebaiknya menggunakan skenario penambahan air make up sebelum memasuki

pengolahan IPA agar dapat membandingkan kualitas air pada hasil akhir nanti dalam proses pengolahan di IPA.

2. Perlu adanya pemakaian teknologi lain seperti misalnya menggunakan teknologi membran filtrasi mikrofiltrasi atau nanofiltrasi dalam perencanaan IPA selanjutnya. Hal ini dilakukan agar bisa membandingkan ke efektivitas teknologi dalam efisiensi removal pada kontaminan air limbah.
3. Perlu adanya penambahan teknologi seperti penambahan pre treatment pada awal proses IPA (koagulasi-flokulasi-sedimentasi) dan desinfeksi pada akhir proses IPA. Hal ini dilakukan untuk mengetahui seberapa besar pengaruh perubahan kualitas air jika dilakukan penambahan proses pada pengolahan IPA.

DAFTAR PUSTAKA

Ahuja, S. (2018). Water Treatment Plant Design. American Water Works Association.

Al Aani, S., & Hilal, N. (2018). "Membrane Technology in Water and Wastewater Treatment". *Environmental Science & Pollution Research*, 25(2), 101-113.

Al Aani, K., Rauf, M. A., & Al-Attar, A. (2017). Performance of Thin Film Composite Membranes for Water Purification: A Review. Desalination and Water Treatment, 96, 14-26.

Al-Shahrani, H., Ahmad, N., & Khan, M. S. (2023). Cleaning Strategies for Reverse Osmosis Membranes: An Overview. *Water Research*, 218, 118399.

Al-weshahi, M., et al. (2021). *Optimization of Oxalic Acid and Sodium Hydroxide Concentration for Water Treatment*. Journal of Water Treatment Technology, 35(4), 201-212.

Bai, Y., Liu, J., & Zhou, X. (2018). Design and Application of PVDF Hollow Fiber Ultrafiltration Membranes for Water Treatment. Journal of Membrane Science, 547(1), 105-114.

Baker, R.W. (2019). *Membrane Technology and Applications*. John Wiley & Sons.

Chang, S., Liang, H., Li, G., & Tian, J. (2019). *Application of ultrafiltration in drinking water treatment: A review*. Journal of Environmental Sciences, 32, 123-135.

Fawell, J. (2017). *Water Quality*: *Guidelines, Standards and health*. World Health Organization.

Fritzmann, C., Löwenberg, J., Wintgens, T., & Melin, T. (2016). *State-of-the-art of reverse osmosis desalination*. Desalination, 216(1-3), 1-76.

Gupta, S. K., & Bandyopadhyay, M. (2018). "Ultrafiltration Membranes in Industrial Wastewater Treatment". *Journal of Water Process Engineering*, 25, 40-47.

Huang, X., Liu, P., & Zhang, L. (2019). Membrane Filtration Technology in Water

Treatment. Journal of Environmental Science & Engineering, 35(4), 59-67.

Judd, S. (2019). *The MBR Book: Principles and Applications of Membrane Bioreactors for Water and Wastewater Treatment*. Elsevier.

Karyadi L. 2010. Partisipasi Masyarakat Dalam Program Instalasi Pengolahan Air Limbah (IPAL) Komunal Di RT 30 RW 07 Kelurahan Warungboto, Kecamatan Umbulharjo, Kota Yogyakarta. Skripsi. Yogyakarta (ID): Universitas Negeri Yogyakarta.

Kucera, J. (2020). *Reverse Osmosis: Design, Processes, and Applications for Engineers*. John Wiley & Sons.

Kumar, M., Adham, S. S., & Pearce, W. R. (2020). *Membrane-based technologies for potable water treatment*. Water Research, 47(2), 479-491.

Kusnadi, A., & Rahman, F. (2020). *Prinsip Dasar Perhitungan Tekanan pada Sistem Pompa*. Yogyakarta: Graha Ilmu.

Li, N., & Tan, W. (2021). PVDF Membrane Technology in Water Treatment: Advances and Applications. Journal of Membrane Science, 610, 102-110.

Liu, J., & Wang, Z. (2020). The impact of pump performance on flow rate in water supply systems. Water Research, 170, 115-122.

Liu, Y., Wang, Z., & Wang, X. (2019). Ultrafiltration Membranes for Water Treatment. Journal of Membrane Science, 570, 123-135.

Metcalf, L., & Eddy, H. (2003). Wastewater Engineering: Treatment and Reuse. McGraw-Hill, New York.

Metcalf, L., & Eddy, H.P. (2018). *Wastewater Engineering: Treatment and Resource Recovery*. McGraw-Hill Education.

Metcalf & Eddy, Inc. (2020). *Wastewater Engineering: Treatment and Resource Recovery*. McGraw-Hill Education.

Michaels, D., & Wurtz, A. (2018). Efficiency of Sand Filtration in Removing Large Particles and Bacteria. Journal of Water Treatment Technologies, 28(3), 67-75.

Mila, R. (2022). Membrane Technology in Water Treatment: Reducing Organic and Inorganic Compounds Without Chemicals. Journal of Sustainable Water Treatment, 12(1), 34-45.

Mulder, M. (1996). Basic Principles of Membrane Technology. Kluwer Academic Publishers, Dordrecht.

Mulder, M. (2017). *Basic Principles of Membrane Technology*. Springer.

Nugraha, C. S., Wijaya, N. C., Romadona, W. P., Akhsani, H. R., & Arrochimi, D. R. (2020). Daur Ulang Air Limbah Domestik untuk Peningkatan Kualitas Permukiman Kumuh dengan Penggunaan Reaktor Biofilter Anaerob Aerob dan Pengolahan Lanjutan. *MATRAPOLIS: Jurnal Perencanaan Wilayah dan Kota*, *1*(1), 57-68.

Peraturan Pemerintah No. 22 Tahun 2021. Penyelenggaraan Perlindungan dan Pengelolaan Lingkungan Hidup.

PERMENKES RI NO. 2 Tahun 2023. Peraturan Pelaksanaan Pemerintah Nomor 66 Tahun 2014 Tentang Kesehatan Lingkungan

PerMen LHK No. 68 Tahun 2016. Perlindungan dan Pengelolaan Lingkungan Hidup tentang Baku Mutu Air Limbah Domestik.

Petersen, R.J. (2020). "Composite Reverse Osmosis and Nanofiltration Membranes". *Journal of Membrane Science*, 509, 92-101.

Raja Qorizam. (2022). Cara Cuci Membran 4040 Tidak Perlu di Lepas Membrannya || Mudah dan Murah...!!!. Youtube. https://www.youtube.com/watch?v=F8ij9Y1MRog&list=LL&index=7 (Diakses pada 16 November 2024).

Shen, J., Liu, G., Ji, Y., & Jin, W. (2017). *Nanofiltration membranes for wastewater treatment: current trends and future developments*. Journal of Membrane Science, 527, 60-73.

Si Tukang Air CI. (2024). Membrane Sumbat, Ayo lihat Keberhasilan Aku Mencuci Membrane di Mesin RO 4000GPD. Youtube https://www.youtube.com/watch?v=NMdSFaao90s&list=LL&index=4&t=

507s (Diakses pada 16 November 2024).

SNI 8825 Tahun 2019. Spesifikasi dan Desain Sistem Filtrasi Membran.

Strathmann, H. (2020). Introduction to Membrane Science and Technology. Wiley.

Supriyatno, B. (2000). Pengelolaan air limbah yang berwawasan lingkungan suatu strategi danlangkah penanganannya. Jurnal Teknologi Lingkungan, 1(1).

Surya, B., & Nugroho, T. (2020). Teknologi Material dalam Konstruksi Perpipaan. Yogyakarta: Gadjah Mada University Press.

Tang, C. Y., Zhao, X. M., & Fane, A. G. (2017). Membrane Technology for Water and Wastewater Treatment: A Review. Environmental Science & Technology, 51(5), 2670-2682.

Van der Bruggen, B., & Luis, P. (2017). "Removal of Pollutants from Water by Membrane Filtration". *Journal of Chemical Technology & Biotechnology*, 92(2), 523-532.

Wang, Y. (2021). *Environmental Water Quality Modeling.* Wiley.

Wang, Y., Chen, H., & Li, X. (2019). Cost Analysis of Water Make-Up for Reverse Osmosis Systems. Desalination, 455, 75-85.

Wang, Y., & Chen, L. (2017). Activated Carbon in Water Treatment: Adsorption of Organic Pollutants and Chlorine. Journal of Water Purification, 30(4), 56-67.

Wenten, I. G., Hakim, A. N., & Khoiruddin, P. T. P. (2014). Desain Proses Berbasis Membran. *Departemen Teknik Kimia, Insitut Teknologi Bandung*.

Witjaksono, R. F., & Sururi, M. R. (2023). Evaluasi Instalasi Pengolahan Air Babakan Pada Perumdam TKR Kabupaten Tangerang. *Jurnal Serambi Engineering*, *8*(1).

Yang, H., Chen, S., & Zhao, J. (2022). The Efficiency of Different Cleaning Methods for Ultrafiltration Membranes: An Overview. *Desalination and Water Treatment*, 251, 255-267.

Yeranda, D. A., & Slamet, A. (2021). Perencanaan Pengolahan Daur Ulang Efluen

IPAL PT SIER Menjadi Air Minum untuk Kegiatan Industri. *Jurnal Teknik ITS*, *9*(2), D79-D84.

Yudo, S., & Hernaningsih, T. (2010). Pemilihan teknologi daur ulang air limbah domestik di Kantor BPPT. Jurnal Air Indonesia, 6(2)

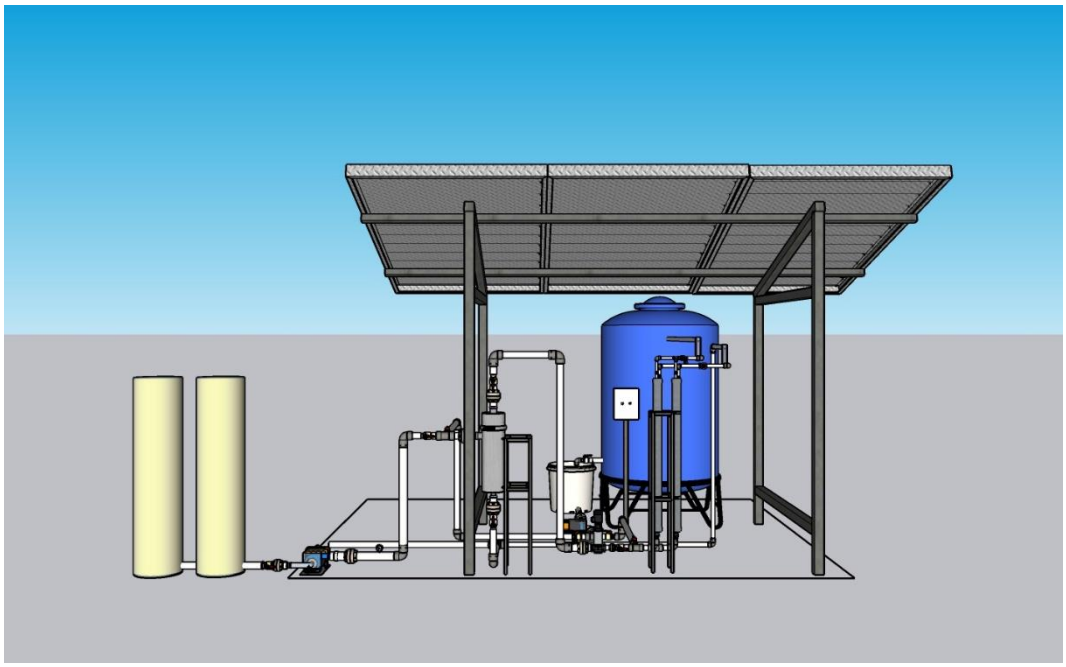
Yudo, S., & Nugroho, R. (2019). Uji Kinerja Instalasi Daur Ulang Air Limbah Industri Kaleng di Jakarta Performance Test Installation of Wastewater Re-Use for Canned Industry in Jakarta. *Jurnal Teknologi Lingkungan Vol*, *20*(2), 225.

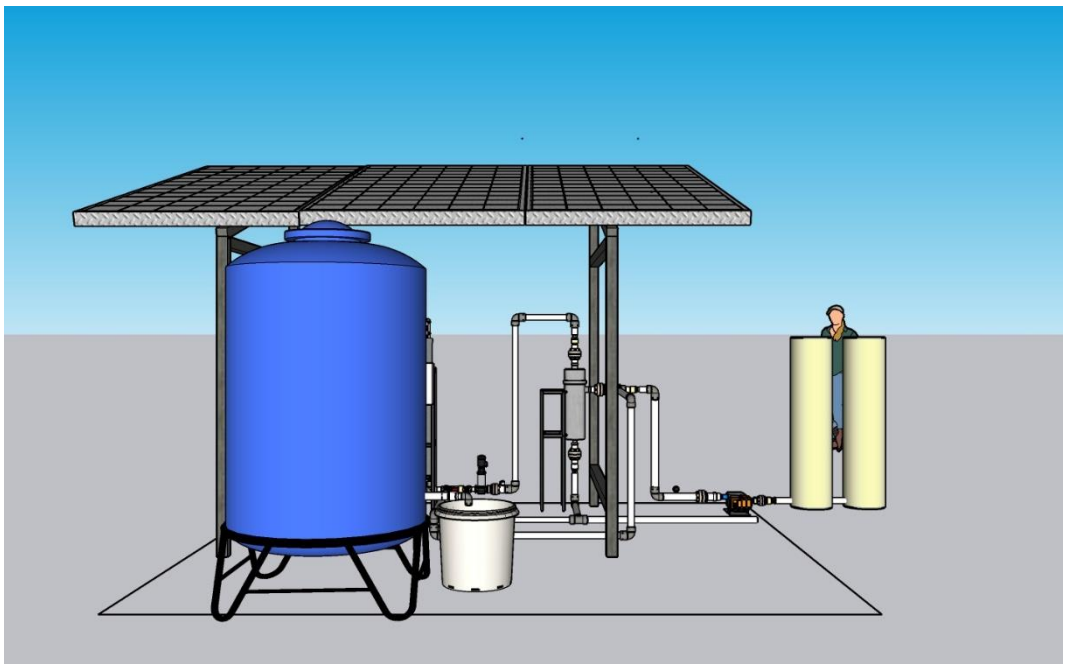
Zhao, Q., Wang, R., & Fane, A. G. (2016). Membrane Module Design for Water and Wastewater Treatment: Hollow Fiber vs. Flat Sheet. Journal of Membrane Science, 526(1), 10-25.

Zhao, Y., Li, Q., & Zhang, X. (2019). Cleaning Techniques in RO Membranes: Optimizing Water Use in Backwash and Chemical Cleaning. Journal of Membrane Science, 575, 215-225.

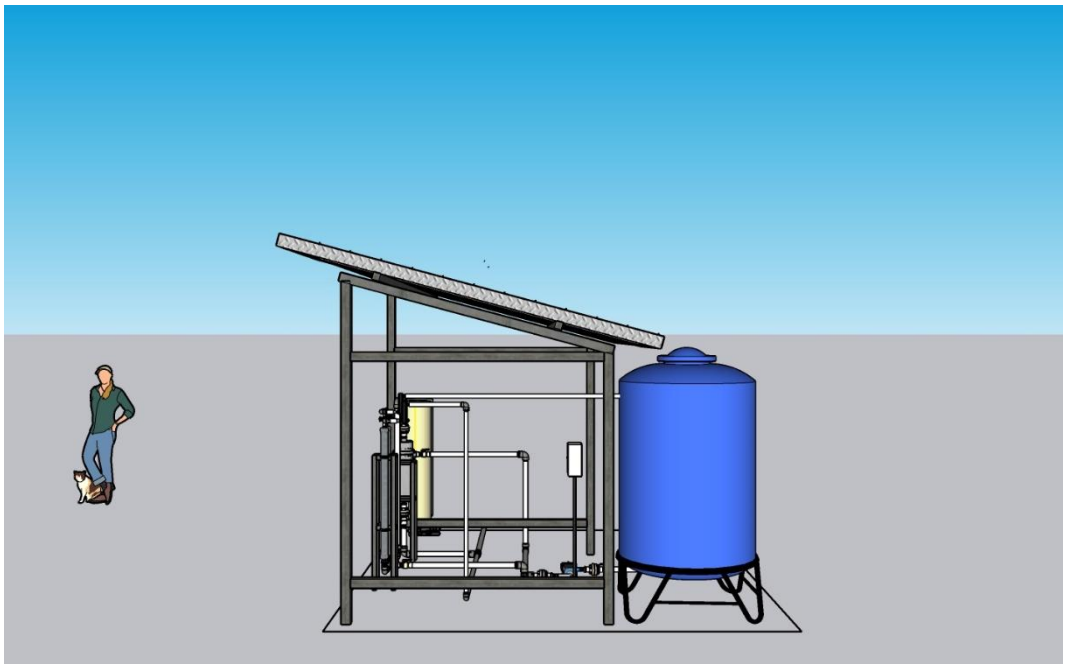
LAMPIRAN

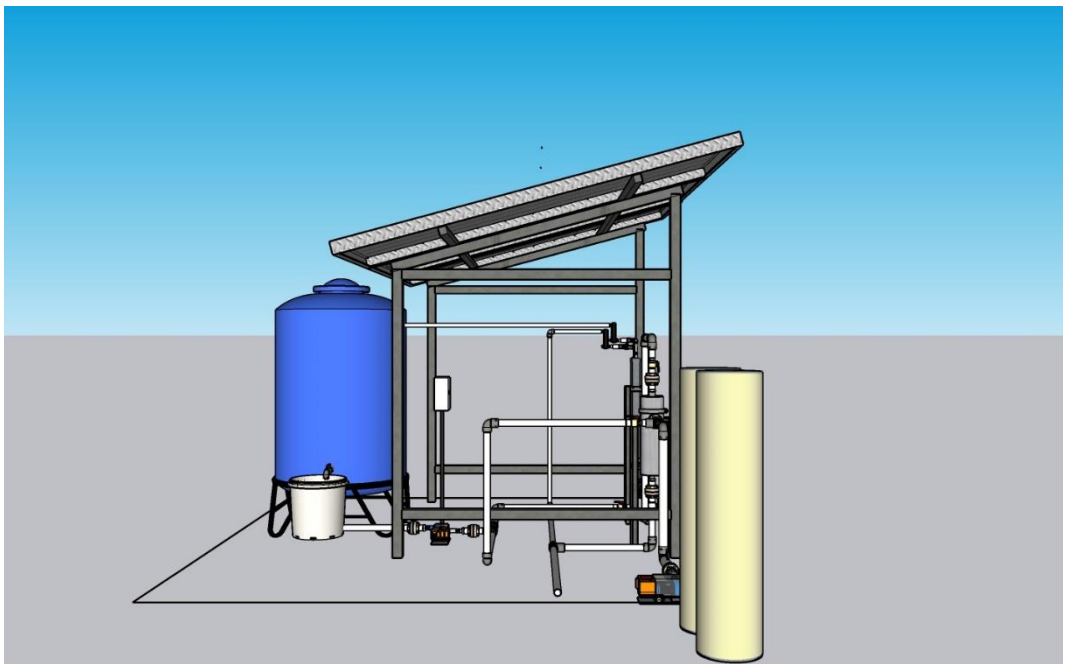
Lampiran 1. Gambar IPA Tampak Depan dan Belakang



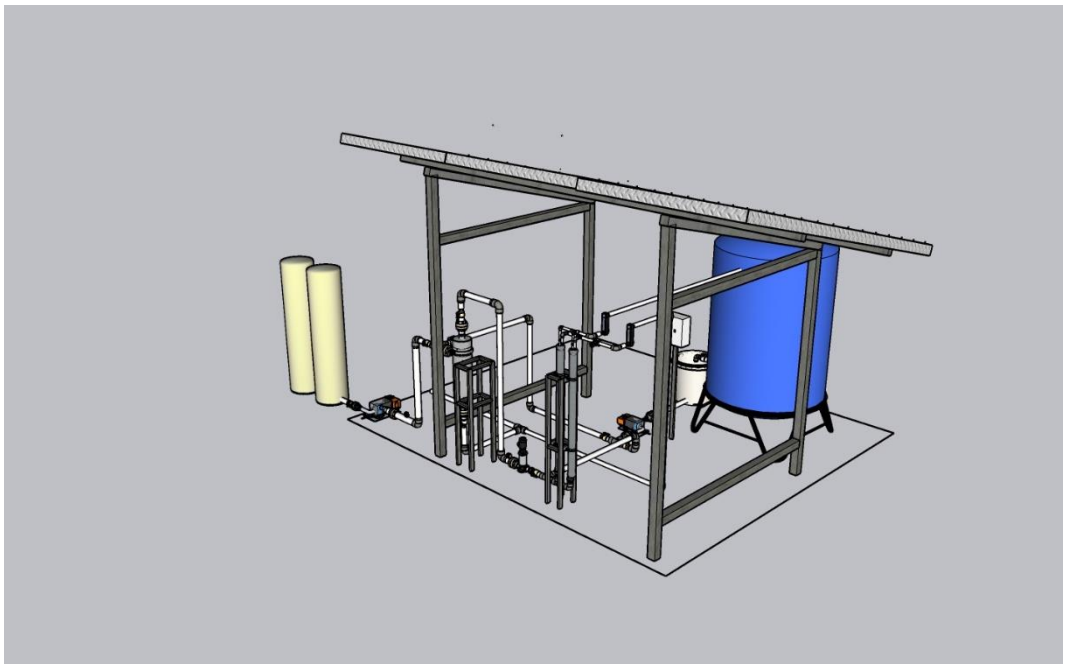


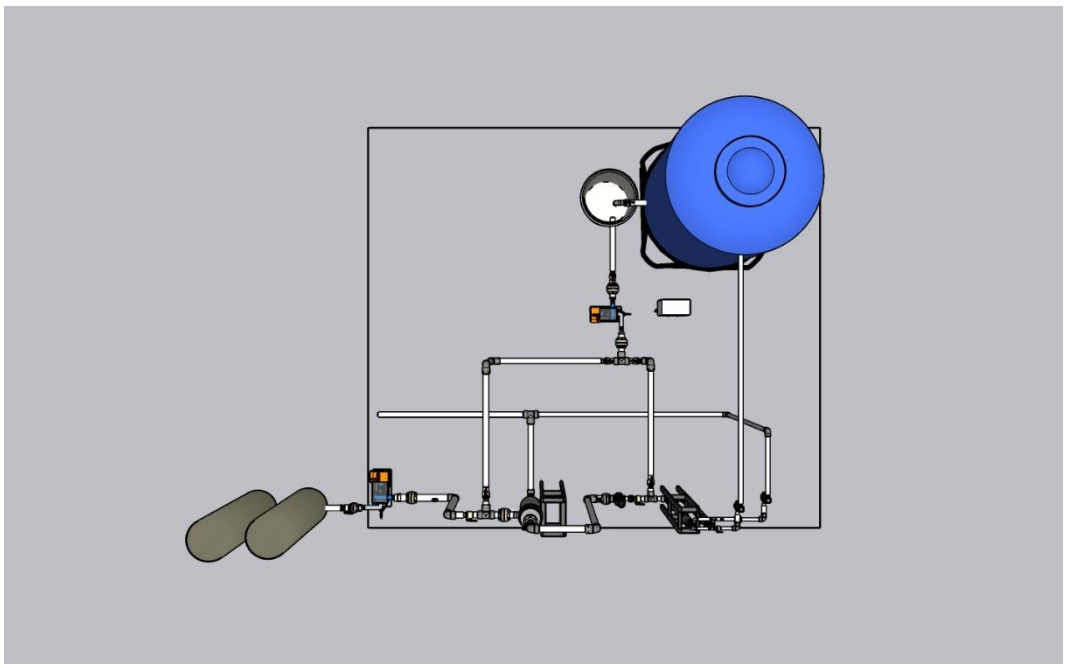
Lampiran 2. Gambar IPA Tampak Samping





Lampiran 3. Gambar IPA Tampak 3D dan atas





Lampiran 4. Nilai Debit dari Data Sekunder

Data Sekunder								
Keterangan	**Jumlah**	**Unit**	**Jumlah**	**Unit**	**Jumlah**	**Unit**	**Jumlah**	**Unit**
Q (debit)	11500	L/hari	479,17	L/jam	7,99	L/menit	0,13	L/detik
	11,5	m^3/hari	0,48	m^3/jam	0,008	m^3/menit	0,00013	m^3/detik

Lampiran 5. Perhitungan nilai rata -rata

- pH

  Rata-rata (r) = (7,86 + 8,23 + 8,99)/3

  = 8,36

- BOD

  Rata-rata (r) = (9 + 6 + 6)/3

  = 7 mg/L

- COD

  Rata-rata (r) = (31 + 20 + 20)/3

  = 23,70 mg/L

- TSS

  Rata-rata (r) = (14 + 5 + 10)/3

  = 9,70 mg/L

- Minyak dan Lemak

  Rata-rata (r) = (0,19 + 0,19 + 0,18)/3

  = 0,20 mg/L

- Amoniak

  Rata-rata (r) = (1 + 0,40 + 2)/3

  = 1,10 mg/L

- Total Coliform

  Rata-rata (r) = (1700 + 540 + 310)/3

  = 850 mg/L

Perhitungan nilai standar deviasi :

- pH

  Standar Deviasi (s) $= \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{n}(xi-\bar{x})^2}{n-1}}$

  = 0,58

- BOD

  Standar Deviasi (s) $= \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{n}(xi-\bar{x})^2}{n-1}}$

  = 1,73

- COD

  Standar Deviasi (s) $= \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{n}(xi-\bar{x})^2}{n-1}}$

  = 6,35

- TSS

  Standar Deviasi (s) $= \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{n}(xi-\bar{x})^2}{n-1}}$

  = 4,50

- Minyak dan Lemak

  Standar Deviasi (s) $= \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{n}(xi-\bar{x})^2}{n-1}}$

  = 0,005

- Amoniak

  Standar Deviasi (s) $= \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{n}(xi-\bar{x})^2}{n-1}}$

  = 0,80

- Total Coliform

  Standar Deviasi (s) $= \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{n}(xi-\bar{x})^2}{n-1}}$

  = 745,05

Lampiran 6. Perhitungan Metode Skoring

Skor Akhir = ∑(skor kriteria x bobot kriteria)

- IPAL → Pre-*treatment* → IPA

  Skor Akhir = $(1 \times 25\%) + (2 \times 25\%) + (1 \times 50\%)$

  = 0,25 + 0,50 + 05

  = 1,25

- IPAL → Air *Make up* → IPA

  Skor Akhir = $(2 \times 25\%) + (2 \times 25\%) + (2 \times 50\%)$

  = 0,50 + 0,50 + 1

  = 2

- IPAL → IPA

  Skor Akhir = $(3 \times 25\%) + (3 \times 25\%) + (2 \times 50\%)$

  = 0,75 + 0,75 + 1

  = 2,50

Dalam metode skoring terdapat bobot kriteria yaitu total 100% dan nilai skor kriteria yaitu 1 – 5, dimana nilai 5 = sangat baik, nilai 4 = cukup baik, nilai 3 = baik, nilai 2 = buruk, dan nilai 1 = sangat buruk.

Air limbah yang telah di olah di IPALD akan langsung menuju pengolahan lanjutan yaitu IPA. Dalam perancanaan daur ulang air limbah domestik ini tidak dilakukan proses penambahan pre treatment maupun air make up dikarenakan proses tambahan ini memerlukan biaya tambahan operasional dan pemeliharaan. Air make up memiliki kualitas yang bervairasi/mengandung kontaminan yang dapat dapat mempengaruhi kinerja sistem, karena itu diperlukan pengolahan tambahan untuk mencapai standar yang diperlukan dalam sistem tertentu (Wang et al, 2019). Penggunaan pre treatment juga memerlukan investasi awal yang signifikan untuk peralatan dan infrakstruktur, seperti saringan, unit koagulasi-flokulasi, dan tangki pengendapan yang dapat meningkatkan biaya proyek daur ulang air limbah (Ahuja, 2018). Pengantian bahan kimia, mencegah kerusakan komponen, serta memastikan bahwa komponen berfungsi dengan baik pada unit koagulasi/flokulasi juga memerlukan kontrol dan pengawasan lebih lanjut, dimana ini memerlukan tenaga kerja dan sumber daya tambahan. Pre *treatment* juga dapat

menghasilkan limbah sekunder seperti lumpur ataupun residu dari proses kimia, oleh karena itu dengan tidak menggunakan proses pre treatment dapat mengurangi produksi limbah tambahan serta mengurangi beban dan biaya untuk pengolahan limbah keseluruhan.

Lampiran 7. Perhitungan Metode Skoring Pada Pemilihan Teknologi

Sumber Referensi Skor Kriteria Pada Metode Skoring :

Keterangan	MF	UF	NF	RO
Efisiensi *Removal*	Skor 1 (Mulder, 2017)	Skor 3 (Chang et al., 2019)	Skor 3 (Shen et al., 2017)	Skor 5 (Kucera, 2020)
Ketersediaan Lahan	Skor 2 (Mulder, 2017)	Skor 4 = (Mulder, 2017)	Skor 3 = (Shen et al., 2017)	Skor 3 (Shen et al., 2017)
Biaya Investasi	Skor 5 (Kumar et al., 2020)	Skor 4 = (Kumar et al., 2020)	Skor 4 = (Shen et al., 2017)	Skor 3 (Shen et al., 2017)
Biaya Operasional dan Pemeliharaan	Skor 5 (Kumar et al., 2020)	Skor 4 = (Mulder, 2017)	Skor 4 = (Kucera, 2020)	Skor 3 = (Fritzmann et al., 2016)
Kebutuhan Energi	Skor 5 (Chang et al., 2019)	Skor 4 = (Kumar et al., 2020)	Skor 3 = (Kucera, 2020)	Skor 2 = (Kucera, 2020)

Pada metode skoring ini digunakan nilai skor kriteria 1-5 dengan total skor pembobotan 100%, selanjutnya akan dilakukan perhitungan skor akhir pada masing-masing teknologi sebagai berikut.

Perhitungan Skor Akhir

Skor Akhir = ∑(skor kriteria x bobot kriteria)

- *Microfiltration*

  Skor Akhir = $(1 \times 30\%) + (2 \times 25\%) + (5 \times 15\%) + (5 \times 20\%) + (5 \times 10\%)$

  = 3,05

- *Ultrafiltration*

  Skor Akhir = $(3 \times 30\%) + (4 \times 25\%) + (4 \times 15\%) + (4 \times 20\%) + (4 \times 10\%)$

  = **3,70**

- *Nanofiltration*

  Skor Akhir = $(3 \times 30\%) + (3 \times 25\%) + (4 \times 15\%) + (4 \times 20\%) + (3 \times 10\%)$

  = 3,35

- Reverse Osmosis

Skor Akhir = $(5 \times 30\%) + (3 \times 25\%) + (3 \times 15\%) + (3 \times 20\%) + (2 \times 10\%)$

= **3,50**

Lampiran 8. Perhitungan Beban Pengolahan

- Parameter BOD

  Beban BOD (kg/hari) = konsentrasi polutan $\left(\frac{\text{mg}}{\text{l}}\right) \times$ $debit\ aliran(\frac{l}{hari}) \times 10^{-6}$ (Metcalf & Eddy, 2018)

  $= 7\frac{mg}{l} \times 11500\frac{l}{hari} \times 10^{-6}$

  $= 0{,}08$ kg/hari

- Parameter COD

  Beban COD (kg/hari) = konsentrasi polutan $\left(\frac{\text{mg}}{\text{l}}\right) \times$ $debit\ aliran(\frac{l}{hari}) \times 10^{-6}$

  $= 23{,}70\frac{mg}{l} \times 11500\frac{l}{hari} \times 10^{-6}$

  = 0,27 kg/hari

- Parameter Amoniak

  Beban Amoniak (kg/hari) = konsentrasi polutan $\left(\frac{\text{mg}}{\text{l}}\right) \times$ $debit\ aliran(\frac{l}{hari}) \times 10^{-6}$

  $= 1{,}10\frac{mg}{l} \times 11500\frac{l}{hari} \times 10^{-6}$

  = 0,01 kg/hari

- Parameter Total Coliform

  Beban Total (CFU/hari) = konsentrasi polutan $\left(\frac{\text{CFU}}{100\text{ml}}\right) \times$ $debit\ aliran(\frac{l}{hari}) \times 10^{-2}$ (Metcalf & Eddy, 2018)

  $= 850\frac{CFU}{100ml} \times 11500\frac{l}{hari} \times 10^{-2}$

  = 97750 CFU/hari

Lampiran 9. Perhitungan Efisiensi Removal

Sumber Referensi Nilai Efisien Removal Pada Teknologi Pemilihan :

Parameter	**Ultrafiltrasi**	**Reverse Osmosis**
	%Efisiensi *Removal*	**%Efisiensi *Removal***
BOD	85-95% (Gupta & Bandyopadhyay, 2018)	90-98% (Al Aani & Hilal, 2018)
COD	80-90% (Gupta & Bandyopadhyay, 2018)	80-95% (Al Aani & Hilal, 2018)
Amoniak	<20% (Metcalf & Eddy, 2020)	80-90% (Al Aani & Hilal, 2018)
Total Coliform	99,9% (Judd, 2019)	99,9% (Van der Bruggen & Luis, 2017)

Perhitungan Efisiensi *Removal* :

- Ultrafiltrasi

  BOD_{outlet} $= BODinlet \times (1 - removal\%)$ (Metcalf & Eddy, 2020)

  $= 7\ mg/l \times (1 - 85\%)$

  = 1,05 mg/l

  COD_{outlet} $= CODinlet \times (1 - removal\%)$

  `

  $= 23{,}7\ mg/l \times (1 - 80\%)$

  = 4,73 mg/l

  $Amoniak_{outlet}$ $= Amoniakinlet \times (1 - removal\%)$

  $=1{,}1\ mg/l \times (1 - 15\%)$

  $= 0{,}93$ mg/l

  Total $Coliform_{outlet}$ $= Total\ Coliforminlet \times (1 - removal\%)$

  $= 850\ CFU/l00ml \times (1 - 95\%)$

  $= 42{,}5$ CFU/100ml

- Reverse Osmosis

  BOD_{outlet} $= BODinlet \times (1 - removal\%)$

  $= 1{,}05\ mg/l \times (1 - 90\%)$

  = 0,10 mg/l

COD_{outlet} $= CODinlet \times (1 - removal\%)$
`
$= 4{,}73\ mg/l \times (1 - 85\%)$
$= 0{,}71$ mg/l

$Amoniak_{outlet}$ $= Amoniakinlet \times (1 - removal\%)$
$= 0{,}93\ mg/l \times (1 - 90\%)$
$= 0{,}09$ mg/l

Total $Coliform_{outlet}$ $= Total\ Coliforminlet \times (1 - removal\%)$

$= 42{,}5\ CFU/l00ml \times (1 - 97\%)$
$= 1{,}28$ CFU/100ml

Lampiran 10. Perhitungan *Recovery Rate* Membran

- Sistem Ultrafiltrasi

  Persentase *Permeate* = 90 %

  $Q_{permeate}$ = 11,5 m^3/day × 90%

  = 10,35 m^3/day

  Q_{waste} = 11,5 m^3/day – 10,35 m^3/day

  = 1,15 m^3/day

- Sistem Reverse Osmosis

  Persentase *Permeate* = 75 %

  $Q_{permeate}$ = 10,35 m^3/day × 75%

  = 7,76 m^3/day

  Q_{waste} = 10,35 m^3/day – 7,76 m^3/day

  = 2,59 m^3/day

System product = 7,76 m3/day

Konsentrat Total = 1,15 m3/day + 2,59 m3/day = 3,74 m3/day

Perhitungan Reduksi Volume (VR)

- Rasio Reduksi Volume (VR) sistem UF = Qi/Qk

  = 11,5 m^3/day / 1,15 m^3/day

  = 10

- Rasio Reduksi Volume (VR) sistem UF = Qi/Qk

  = 10,35 m^3/day / 2,59 m^3/day

  = 4

Lampiran 11. Perhitungan Membran Ultrafiltrasi

Pada modul ultrafiltrasi PVDF kapasitas 2000 LPH memiliki jumlah serat sekitar 5000 – 15000 serat hollow fiber (Bai et al., 2018). Kemudian, akan dilakukan perhitungan luas permukaan total dari modul hollow fiber yaitu dengan rumus A = N . π . Dout . L (Zhao et al., 2016).

Luas Permukaan Membran (A) $= jumlah\ serat\ (n) \times \pi \times Dout \times Panjang\ serat\ (l)$

$= 5000 \times 3{,}14 \times 2\ mm \times 800\ mm$

$= 25{,}12\ m^2$

- Fluks (Mulder, 1996)

$$Jv = \frac{V}{A.t}$$

$$Jv = \frac{431{,}25L}{25{,}12m\text{^}2\times 1}$$

$$Jv = 17{,}16\,\frac{L}{m^2}.h = 412{,}02\ L/m\text{^}2.d$$

*Keterangan:

Jv = fluks volume (L/m^2.day)

A = luas permukaan membran (m^2)

t = waktu (jam)

V = volume permeat (L)

- Rejeksi Membran (Mulder, 1996)

$$R_{BOD}(\%) = \frac{C_{umpan} - C_{permeat}}{C_{umpan}} \times 100\% = \frac{7mg/l - 1{,}05mg/l}{7mg/l} \times 100\% = 85\%$$

$$R_{COD}(\%) = \frac{C_{umpan} - C_{permeat}}{C_{umpan}} \times 100\% = \frac{23{,}7mg/l - 4{,}73mg/l}{23{,}7mg/l} \times 100\% = 80\%$$

$$R_{amoniak}(\%) = \frac{C_{umpan} - C_{permeat}}{C_{umpan}} \times 100\% = \frac{1{,}1mg/l - 0{,}93mg/l}{1{,}1mg/l} \times 100\% = 18\%$$

$$R_{totalcoliform}(\%) = \frac{C_{umpan} - C_{permeat}}{C_{umpan}} \times 100\% = \frac{850CFU/100ml - 42{,}5CFU/100ml}{850CFU/100ml} \times 100\% = 95\%$$

*Keterangan:

R = persentase rejeksi

C_{umpan} = konsetnerasi partikel dalam umpan (inlet)

$C_{permeat}$ = konsentrasi partikel dalam permeat (outlet)

Lampiran 12. Perhitungan Membran Reverse Osmosis

Pada modul membran RO jenis ULP 4040 yaitu spiral wound memiliki jumlah lapisan gulungan sekitar 20-30 lapisan (Shenvi et al, 2017). .Kemudian, akan dilakukan perhitungan luas permukaan total dari modul spiral wound yaitu dengan rumus A = 2 . N . L . W (Tang et al, 2017).

Luas Permukaan Membran (A) $= 2 \times N \times L \times W)$

$= 2 \times 30 \times 1{,}016\ m \times 0{,}102\ m$

$= 6{,}19\ m^2$

*Keterangan

N = jumlah lapisan gulungan membran

L = panjang membran (m)

W = lebar membran (m)

- Fluks (Mulder, 1996)

$$Jv = \frac{V}{A.t}$$

$$Jv = \frac{3881{,}3L}{6{,}19\ m\text{^}2\times 1}$$

$$Jv = 626{,}7\ L/m\text{^}2.d$$

*Keterangan:

Jv = fluks volume (L/m^2.day)

A = luas permukaan membran (m^2)

t = waktu (days)

V = volume permeat (L)

- Rejeksi Membran (Mulder, 1996)

$$R_{BOD}(\%) = \frac{C_{umpan} - C_{permeat}}{C_{umpan}} \times 100\% = \frac{1{,}05mg/l - 0{,}105mg/l}{1{,}05mg/l} \times 100\% = 90\%$$

$$R_{COD}(\%) = \frac{C_{umpan} - C_{permeat}}{C_{umpan}} \times 100\% = \frac{4{,}75mg/l - 0{,}71mg/l}{4{,}75mg/l} \times 100\% = 85\%$$

$$R_{amoniak}(\%) = \frac{C_{umpan} - C_{permeat}}{C_{umpan}} \times 100\% = \frac{0{,}93mg/l - 0{,}093mg/l}{0{,}93mg/l} \times 100\% =$$

90%

$$R_{totalcoliform}(\%) = \frac{C_{umpan} - C_{permeat}}{C_{umpan}} \times 100\% =$$

$$\frac{42{,}5CFU/100ml - 1{,}275CFU/100ml}{42{,}5CFU/100ml} \times 100\% = 97\%$$

*Keterangan:

R = persentase rejeksi

C_{umpan} = konsetnerasi partikel dalam umpan (inlet)

$C_{permeat}$ = konsentrasi partikel dalam permeat (outlet)

Lampiran 13. Perhitungan Pompa

Tekanan (P) = $\rho \times g \times h$ (Kusnadi & Rahman, 2020). Rumus ini menggambarkan hubungan antara massa jenis fluida (air), percepatan gravitasi, dan tinggi air atau head yang ingin dicapai oleh pompa. Tekanan pompa biasanya dinayata dalam pascal (Pa) atau bar, yang dimana 1 bar = 100.000 Pa. Massa jenis fluida air sekitar 1000 kg/m3, serta nilai percepatan gravitas sekitar 9,81 m/s2.

- Pompa Shimizu PS 116 BIT + MC Pendorong

  Tekanan (P) $= \rho \times g \times h$

  $= 1000 \times 9{,}81 \times 30$

  $= 294300$ Pa $= 2{,}9$ bar

- Pompa CNNP CDLF 2-22 1PHASE 220V

  Tekanan (P) $= \rho \times g \times h$

  $= 1000 \times 9{,}81 \times 165$

  $= 1618650$ Pa $= 16{,}1$ bar

- Pompa Pendorong + Mesin Pompa Otomatis

  Tekanan (P) $= \rho \times g \times h$

  $= 1000 \times 9{,}81 \times 15$

  $= 147150$ Pa $= 1{,}4$ bar

Lampiran 14. Perhitungan Perpipaan

Dilakukan perhitungan jumlah panjang total yang dibutuhkan serta disesuaikan dengan ukuran pipa yang tersedia di pasaran:

1 inchi = 3 meter + 2 meter + 2,5 meter = **7,5 meter**

3/4 inchi = 2,5 meter + 0,6 meter + 4,2 meter + 3,1 meter + 2,2 meter
= **12,6 meter**

1/2 inchi = **2,1 meter**

Perhitungan kecepatan aliran sebagai berikut :

- Pipa 1 Inchi

  Debit air (Q) = 11,5 m^3/day = 0,00013 m^3/s

  Diameter Pipa = 0,02 meter

  Luas Penampang (A) = $\frac{\pi \times D^2}{4} = \frac{3{,}14 \times 0{,}0254^2}{4} = 0{,}0051 m^2$

  Kecepatan Aliran (V) = $\frac{Q}{A} = \frac{0{,}000133}{0{,}0051} = 0{,}26\ m/s$

- Pipa 3/4 Inchi

  Debit air (Q) = 11,5 m^3/day = 0,000133 m^3/s

  Diameter Pipa = 0,02 meter

  Luas Penampang (A) = $\frac{\pi \times D^2}{4} = \frac{3{,}14 \times 0{,}019^2}{4} = 0{,}00028 m^2$

  Kecepatan Aliran (V) = $\frac{Q}{A} = \frac{0{,}000133}{0{,}00028} = 0{,}47\ m/s$

- Pipa 1/2 Inchi

  Debit air (Q) = 11,5 m^3/day = 0,000133 m^3/s

  Diameter Pipa = 0,01 meter

  Luas Penampang (A) = $\frac{\pi \times D^2}{4} = \frac{3{,}14 \times 0{,}0127^2}{4} = 0{,}00013 m^2$

  Kecepatan Aliran (V) = $\frac{Q}{A} = \frac{0{,}000133}{0{,}00013} = 1{,}05\ m/s$

Setelah mengetahui nilai kecepatan aliran air (V_0) sebelum mempertimbangkan tekanan pada pompa, selanjutnya menghitung kecepatan aliran akibat tekanan pompa dengan rumus sebagai berikut (Liu & Wang, 2020).

$V_{\text{tekanan pompa 1}} = \sqrt{\frac{2 \times P}{\rho}}$

$$= \sqrt{\frac{2 \times 294300\ Pa}{1000\ kg/m^3}} = 24{,}26\ m/s$$

$V_{\text{tekanan pompa 2}} = \sqrt{\frac{2 \times P}{\rho}}$

$$= \sqrt{\frac{2 \times 1618650\ Pa}{1000\ kg/m^3}} = 56.9\ m/s$$

$V_{\text{tekanan pompa 3}} = \sqrt{\frac{2 \times P}{\rho}}$

$$= \sqrt{\frac{2 \times 147150\ Pa}{1000\ kg/m^3}} = 17{,}16\ m/s$$

Kemudian, menghitung kecepatan aliran total dalam pipa dengan menjumlahkan kecepatan awal sebelum melewati tekanan pompa dengan kecepatan aliran akibat pompa.

- Pompa 1 Menuju UF

  $V_{total} = V_0 + V_{tekanan}$

  = 0,26 m/s + 24,26 m/s

  = 24,52 m/s

- Pompa 2 Menuju RO

  $V_{total} = V_0 + V_{tekanan}$

  = 0,47 m/s + 56,9 m/s

  = 57,37 m/s

- Pompa 3 Menuju Membran UF dan RO untuk membersihkan membran

  $V_{total} = V_0 + V_{tekanan}$

  = 0,47 m/s + 17,2 m/s

  = 17,67 m/s

Lampiran 15. Perhitungan BOQ dan RAB

BOQ ialah daftar terperinci tentang semua material, pekerjaan, dan layanan yang diperlukan dalam proyek. BOQ mencakup kuantitas dan spesifikasi dari setiap item yang diperlukan dalam perencanaan IPA ini. Berikut merupakan perhitungan BOQ dalam perencaan IPA kali ini.

Pengadaan Perpipaan

Titik		**Diameter Pipa**	**Panjang Pipa**
Dari	**Ke**		
Tangki Feedwater	Pompa Booster 1	1 inchi	3 meter
Pompa Booster 1	Ultrafiltrasi	1 inchi	2 meter
Ultrafiltrasi	Pompa Booster 2	1 inchi	2,5 meter
Ultrafiltrasi	*Waste Water*	3/4 inchi	2,5 meter
Pompa Booster 2	Reverse Osmosis 1 dan 2	3/4 inchi	0,6 meter
Reverse Osmosis 1 dan 2	*Waste Water*	3/4 Inchi	4,2 meter
Reverse Osmosis 1 dan 2	tangki hasil akhir	1/2 inchi	2,1 meter
CIP ember 1 L	Ultrafiltrasi	3/4 inchi	3,1 meter
CIP ember 1 L	Reverse Osmosis 1 dan 2	3/4 inchi	2,2 meter

Total Panjang Pipa per Ukuran	
Ukuran Pipa di Pasaran	**Jumlah**
1 inchi	8 meter
3/4 inchi	13 meter
1/2 inchi	3 meter

Kemudian, berikut nya perhitungan pengadaan aksesoris pada perpipaan.

Pengadaan Aksesoris Perpipaan

Keterangan	**Diamater Pipa**	**Satuan**	**Jumlah**
pipa elbow (belok)	1	Inchi	6
	3/4	Inchi	12
	1/2	Inchi	2
pipa t	1" x 3/4	Inchi	1
	3/4	Inchi	4
	1/2	Inchi	2
stop keran	1	Inchi	3
	3/4	Inchi	6
	1/2	Inchi	1
water mur	1"	Inchi	5
	3/4	Inchi	7
	1/2	Inchi	2

Keterangan	Diamater Pipa	Satuan	Jumlah
sock drat	1” (drat luar)	Inchi	2
	1" x 3/4 (dalam)	Inchi	2
	3/4 (dalam)	Inchi	1
	1" x 11/4 (luar)	Inchi	1
	11/4 x 3/4 (luar)	Inchi	1
	3/4 (luar)	Inchi	4
	1/2 (luar)	Inchi	4
	1/2 x 3/4 (luar)	Inchi	2

Selanjutnya perhitungan pengadaan unit-unit yang akan digunakan.

Pengadaan Unit – Unit

Pengadaan Unit - Unit		
Item	**Satuan**	**Jumlah**
Pompa Shimizu PS 116 BIT + MC Pendorong	Unit	1
Pompa CNP CDLF 2-22 1PHASE 220 V	Unit	1
Pompa Pendorong + Mesin Pompa Otomatis 100 watt	Unit	1
Low Pressure Switch	Unit	1
Pressure Gauge	Unit	2
Gauge Valve	Unit	1
Flow Meter	Unit	2
Membran Ultrafiltrasi	Unit	1
Housing Membran UF	Unit	1
Membran Reverse Osmosis	Unit	2
Housing Membran RO	Unit	2
Tangki Akhir Hasil RO	Unit	1
Radar Tangki	Unit	1
Ember 15 Liter	Unit	1
Control Panel	Unit	1
Kanopi Baja Ringan	meter^2	7
Hollow Baja Ringan	meter^2	12
Biaya Pemasangan IPA		
Biaya Tenaga Kerja Pemasangan	Hari	7

Perhitungan Rencana Anggaran Biaya (RAB)

Rencana Anggaran Biaya (RAB)				
Harga Panjang Pipa				
Ukuran Pipa	**Jumlah**	**Satuan**	**Harga Satuan (Rp)**	**Total Harga (Rp)**
1 inchi	8	meter	Rp 16.500	Rp 132.000
3/4 inchi	13	meter	Rp 13.500	Rp 175.500
1/2 inchi	3	meter	Rp 10.000	Rp 30.000
Total Harga Pipa				**Rp 337.500**
Harga Aksesoris Perpipaan				
Ukuran Pipa	**Jumlah**	**Satuan**	**Harga Satuan (Rp)**	**Total Harga (Rp)**
Item = Pipa Elbow (Belok)				
1"	6	inchi	Rp 1.750	Rp 10.500
3/4"	12	inchi	Rp 1.835	Rp 22.020
1/2"	2	inchi	Rp 730	Rp 1.460
Item = Pipa Tee (T)				
1 x 3/4	1	inchi	Rp 4.100	Rp 4.100
3/4"	4	inchi	Rp 2.500	Rp 10.000
1/2"	2	inchi	Rp 2.143	Rp 4.286
Item = Stop Keran (valve)				
1"	3	inchi	Rp 17.500	Rp 52.500
3/4"	6	inchi	Rp 12.000	Rp 72.000
1/2"	1	inchi	Rp 9.000	Rp 9.000
Item = Water Mur				
1"	5	inchi	Rp 10.000	Rp 50.000
3/4"	7	inchi	Rp 4.800	Rp 33.600
1/2"	2	inchi	Rp 4.340	Rp 8.680
Item = Sock Drat				
1" (drat luar)	2	inchi	Rp 2.785	Rp 5.570
1 x 3/4 (drat dalam)	2	inchi	Rp 3.500	Rp 7.000
3/4" (dalam)	1	inchi	Rp 3.200	Rp 3.200
1 x 11/4 (luar)	1	inchi	Rp 12.000	Rp 12.000
11/4 x 3/4 (luar)	1	inchi	Rp 12.500	Rp 12.500
3/4" (luar)	4	inchi	Rp 2.175	Rp 8.700
1/2" (luar)	4	inchi	Rp 1.485	Rp 5.940
1/2 x 3/4 (luar)	2	inchi	Rp 2.400	Rp 4.800
Total Harga Aksesoris Pipa				**Rp 337.856**
Harga Unit				
Item	**Jumlah**	**Satuan**	**Harga Satuan (Rp)**	**Total Harga (Rp)**
Pompa Shimizu PS 116 BIT + MC Pendorong	1	Unit	Rp 595.500	Rp 595.500

Rencana Anggaran Biaya (RAB)						
Pompa CNP CDLF 2-22 1PHASE 220 V	1	Unit	Rp	6.000.000	Rp	6.000.000
Pompa Pendorong + Mesin Pompa Otomatis 100 watt	1	Unit	Rp	285.000	Rp	285.000
Low Pressure Switch	1	Unit	Rp	200.000	Rp	200.000
Pressure Gauge	2	Unit	Rp	180.000	Rp	360.000
Gauge Valve	1	Unit	Rp	597.180	Rp	597.180
Flow Meter	2	Unit	Rp	145.000	Rp	290.000
Membran Ultrafiltrasi	1	Unit	Rp	780.000	Rp	780.000
Housing Membran UF	1	Unit	Rp	610.000	Rp	610.000
Membran Reverse Osmosis	2	Unit	Rp	1.035.000	Rp	2.070.000
Housing Membran RO	2	Unit	Rp	375.000	Rp	750.000
Tangki Akhir Hasil RO 1000 L	1	Unit	Rp	1.950.000	Rp	1.950.000
Radar Tangki	1	Unit	Rp	59.000	Rp	59.000
Ember 50 Liter	1	Unit	Rp	59.500	Rp	59.500
Control Panel	1	Unit	Rp	940.000	Rp	940.000
Kanopi Baja Ringan	7	meter^2	Rp	200.000	Rp	1.400.000
Hollow Baja Ringan	12	meter	Rp	5.000	Rp	60.000
Total Harga Unit					**Rp**	**17.006.180**
Harga Pemasangan IPA						
Item	**Jumlah**	**Satuan**	**Harga Satuan (Rp)**		**Total Harga (Rp)**	
Biaya Tenaga Kerja Pemasangan	7	hari	Rp	200.000	Rp	1.400.000
TOTAL RAB KESELURUHAN					**Rp**	**19.081.536**

Operational Expenditure (OPEX) Perencanaan IPA

Listrik		
Operasional		
Pompa 1	125	Watt
Pompa 2	2,2	kW
Low Pressure Switch	3	Watt
Sensor Volume Air	8	Watt
Total	2,336	kwH
	56,064	kWday
Harga Daya listrik	Rp 1.114,74	per kWh
Biaya Listrik	Rp 62.496,78	per hari
Pembersihan Membran		
Pompa 3	100	Watt

Listrik			
		0,1	kWh
		2,4	kWday
Harga Daya listrik	Rp	1.114,74	per kWh
Biaya Listrik	Rp	2.675,38	per hari
Total Biaya Listrik	Rp	1.880.254,25	per bulan
	Rp	**22.563.051,03**	per tahun
Pemeliharaan			
Harga Bahan Kimia			
Oxalid Acid (Asam Oxalat)	Rp	14.888,00	per kg
Soda Api (NaOH)	Rp	13.622,00	per kg
Total biaya bahan kimia	Rp	28.510,00	per 2 minggu
Pekerja (2 orang)	Rp	500.000	per 2 minggu
Total Biaya Pemeliharaan	Rp	528.510	per 2 minggu
	Rp	1.057.020	per 1 bulan
	Rp	12.684.240	per 1 tahun
TOTAL BIAYA OPEX (LISTRIK + PEMELIHARAAN)	**Rp**	**2.937.274**	**Per bulan**

Lampiran 16. Perhitungan Potensi IPA

- Keuntungan pembangunan IPA

Harga Air PDAM di Kabupaten bekasi			
Keterangan	**Jumlah**	**Unit**	**Harga**
Harga Air PDAM	1	m^3	Rp 19.900
Daur Ulang Air Limbah di PT.X			
Menghasilkan Air Bersih	7,76	m^3 / hari	Rp 154.424
	232,8	m^3 / bulan	-
Kebutuhan Air Untuk Pencucian Membran	200	Liter/bulan	-
Ke untungan per bulan	232,6	m^3/bulan	**Rp 4.628.740**
OPEX (biaya Listrik dan pemeliharaan)		Per bulan	**Rp 2.937.274**
Ke untungan bersih per bulan			**Rp 1.691.466**
Ke Untungan bersih per tahun			**Rp 20.297.589**
Biaya Pembangunan IPA			**Rp 19.081.536**

1.Ke untungan per hari
= $Harga\ air\ PDAM \times Hasil\ air\ bersih\ yang\ didapat\ per\ harinya$
= Rp. 19.900 × 7,76 m^3/hari
= Rp 154.424 per hari nya

2.Ke untungan per bulan
= Harga air PDAM × ((Hasil air bersih yang didapat per hari × 30 hari) – penggunaan air bersih untuk pencucian membaran per bulan)
= Rp. 19.900 × (7,76 m^3/hari × 30 hari) - 200 liter/bulan)
= Rp 4.628.740 per bulan nya

3.Ke untungan bersih yang didapat
= Ke untungan per bulan – OPEX (biaya listrik dan pemeliharaan)
= Rp 4.628.740 per bulan – 2.937.274 per bulan
= Rp 1.691.466 per bulan
= **Rp 20.297.589** per tahun