

**PENGOLAHAN LIMBAH CAIR RUMAH MAKAN MENJADI
AIR BERSIH DENGAN METODE KOMBINASI SARINGAN
BERTINGKAT-ULTRAFILTRASI MEMBRAN
*POLYETHERSULFONE (PES)***

TUGAS AKHIR

Diajukan Oleh :

INTAN FADHILAH

NIM. 180702033

**Mahasiswa Fakultas Sains dan Teknologi UIN Ar-Raniry
Program Studi Teknik Lingkungan**



**FAKULTAS SAINS DAN TEKNOLOGI
UNIVERSITAS ISLAM NEGERI AR-RANIRY
BANDA ACEH
2023 M/1444 H**

LEMBAR PERSETUJUAN TUGAS AKHIR

PENGOLAHAN LIMBAH CAIR RUMAH MAKAN MENJADI AIRBERSIH DENGAN METODE KOMBINASI SARINGAN BERTINGKAT-ULTRAFILTRASI MEMBRAN *POLYETHERSULFONE (PES)*

TUGAS AKHIR

Diajukan Kepada Fakultas Sains dan Teknologi
Universitas Islam Negeri (UIN) Ar-Raniry Banda Aceh
Sebagai Salah Satu Beban Studi Memperoleh Gelar Sarjana (S1)
dalam Ilmu Teknik Lingkungan

Oleh:

INTAN FADHILAH

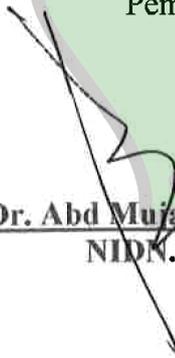
NIM. 180702033

**Mahasiswa Fakultas Sains dan Teknologi
Program Studi Teknik Lingkungan**

Disetujui untuk Dimunaqasyahkan Oleh:

Pembimbing I,

Pembimbing II,


Dr. Abd Mujahid Hamdan, M.Sc
NIDN. 2013128901


Dr. Fachrul Razi, S.T., M.T
NIP. 197610182006041003

Mengetahui,
Ketua Program Studi Teknik Lingkungan


Husnawati Yahya, S.Si., M.Sc
NIDN. 2009118301

LEMBAR PENGESAHAN TUGAS AKHIR

PENGOLAHAN LIMBAH CAIR RUMAH MAKAN MENJADI AIRBERSIH DENGAN METODE KOMBINASI SARINGAN BERTINGKAT-ULTRAFILTRASI MEMBRAN *POLYETHERSULFONE (PES)*

TUGAS AKHIR

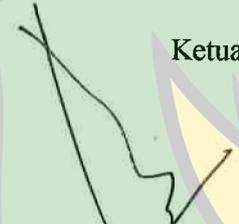
Telah Diuji oleh Panitia Ujian Munaqasyah Tugas Akhir
Fakultas Sains dan Teknologi UIN Ar-Raniry Banda Aceh dan Dinyatakan Lulus
Serta Diterima Sebagai Salah Satu Beban Studi Program Sarjana (S-1)
Dalam Ilmu Teknik Lingkungan

Pada Hari/Tanggal: Rabu, 28 Desember 2022
04 Jumadil Akhir 1443 H
di Darussalam, Banda Aceh

Panitia Ujian Munaqasyah Tugas Akhir:

Ketua,

Sekretaris,


Dr. Abd Mujahid Hamdan, M.Sc
NIDN. 2013128901


Dr. Fachrul Razi, S.T., M.T
NIP. 197610182006041003

Penguji I,

Penguji II,


Dr. Eng. Nur Aida, M.Si
NIDN. 2016067801


Mulyadi Abdul Wahid, M.Sc
NIDN. 2015118002

Mengetahui,

Dekan Fakultas Sains dan Teknologi
Universitas Islam Negeri Ar-Raniry Banda Aceh




Dr. Ir. Muhammad Dirhamsyah, M.T., IPU
NIDN. 0002106203

LEMBAR PERNYATAAN KEASLIAN TUGAS AKHIR

Yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : Intan Fadhilah
NIM : 180702033
Program Studi : Teknik Lingkungan
Fakultas : Sains dan Teknologi UIN Ar-Raniry Banda Aceh
Judul : Pengolahan Limbah Cair Rumah Makan Menjadi Air Bersih Dengan Metode Kombinasi Saringan Pasir Bertingkat-Ultrafiltrasi Membran *Polyethersulfone* (Pes)

Dengan ini menyatakan bahwa dalam penulisan tugas akhir ini, saya:

1. Tidak menggunakan ide orang lain tanpa mampu mengembangkan dan mempertanggungjawabkan;
2. Tidak melakukan plagiasi terhadap naskah karya orang lain;
3. Tidak menggunakan karya orang lain tanpa menyebutkan sumber asli atau tanpa izin pemilik karya;
4. Tidak memanipulasi dan memalsukan data;
5. Mengerjakan sendiri karya ini dan mampu bertanggungjawab atas karya ini.

Bila kemudian hari ada tuntutan dari pihak lain atas karya saya, dan telah melalui pembuktian yang dapat dipertanggungjawabkan dan ternyata memang ditemukan bukti bahwa saya telah melanggar pernyataan ini, maka saya siap dikenai sanksi berdasarkan aturan yang berlaku di Fakultas Sains dan Teknologi UIN Ar-Raniry Banda Aceh.

Demikian pernyataan ini saya buat dengan sesungguhnya dan tanpa paksaan dari pihak manapun.

Banda Aceh, 21 Desember 2022
Yang menyatakan



(Intan Fadhilah)

ABSTRAK

Nama : Intan Fadhilah
Nim : 180702033
Program Studi : Teknik Lingkungan
Judul : Pengolahan Limbah Cair Rumah Makan Menjadi Air Bersih dengan Metode Kombinasi Saringan Pasir Bertingkat-Ultrafiltrasi Membran *Polyethersulfone* (PES)
Jumlah Halaman : 89
Pembimbing I : Dr. Abd Mujahid Hamdan M.Sc.
Pembimbing II : Dr. Fachrul Razi, S.T., M.T.
Kata Kunci : limbah cair rumah makan, saringan bertingkat, membran *Polyethersulfone* (PES), pelarut *Dimethylformamide* (DMF), aditif *Titanium dioksida* (TiO₂), ultrafiltrasi dan efektivitas

Limbah cair rumah makan merupakan limbah domestik dengan kadar pencemar yang cukup tinggi, apabila dengan jumlah yang banyak dibuang ke lingkungan tanpa pengolahan lebih lanjut dapat mengakibatkan pencemaran. Kemudian dengan seiring perkembangan teknologi, limbah cair domestik kini telah dapat diolah dan dimanfaatkan kembali, maka pengolahan yang dapat digunakan untuk mengolah limbah rumah makan tersebut ialah metode kombinasi pasir bertingkat dan teknologi membran. Pengolahan dalam penelitian ini dilakukan dengan proses metode kombinasi saringan bertingkat dengan aliran *downflow* dan ultrafiltrasi membran PES. Komposisi media filter pada saringan bertingkat terdiri dari pasir silika, karbon aktif, zeolit, dan kerikil dengan masing-masing ketebalan media ialah 15 cm pada pipa PVC ukuran 4 inci. Membran PES yang digunakan memiliki konsentrasi polimer PES 15% dan PES 20%, dengan parameter pencemar yang diukur efisiensinya adalah pH, TSS, COD dan kekeruhan. Besarnya efektivitas penurunan pencemar berbeda-beda, pH dapat berubah menjadi 6,9, TSS dapat terdegradasi sampai 98,37%, COD dapat terdegradasi sampai 88,14% dan kekeruhan dapat terdegradasi mencapai 97,03%. Perlakuan paling baik dalam pengolahan limbah cair rumah makan menjadi air bersih adalah menggunakan metode kombinasi saringan bertingkat dan ultrafiltrasi membran PES 20%.

ABSTRACT

Name : *Intan Fadhilah*
Student ID Number : *180702033*
Department : *Environmental Engineering*
Title : *Restaurant Liquid Waste Treatment Into Clean Water Using Graded Filter-Ultrafiltration Membrane Polyethersulfone (PES) Method*
Number of Pages : *89*
Advisor I : *Dr. Abd Mujahid Hamdan M.Sc.*
Advisor II : *Dr. Fachrul Razi, S.T., M.T.*
Keywords : *restaurant wastewater, graded filter, Polyethersulfone (PES) membrane, dimethylformamide (DMF) solvent, Titanium dioxide (TiO₂) additive, ultrafiltration and effectiveness*

Restaurant liquid waste is domestic waste with quite high pollutant levels, if large amounts are discharged into the environment without further processing it can cause pollution. Then, along with technological developments, domestic liquid waste can now be processed and reused, so the treatment that can be used to treat restaurant waste is a combination method of multilevel sand and membrane technology. Processing in this study was carried out using a multilevel filter combination process with downflow flow and PES membrane ultrafiltration. The composition of the filter media on the multilevel filter consists of silica sand, activated carbon, zeolite, and gravel with a media thickness of 15 cm each on a 4-inch PVC pipe. The PES membrane used had a polymer concentration of 15% PES and 20% PES, with the pollutant parameters measured for efficiency being pH, TSS, COD, and turbidity. The amount of effectiveness for reducing pollutants varies, pH can change to 6.9, TSS can be degraded up to 98.37%, COD can be degraded up to 88.14% and turbidity can be degraded up to 97.03%. The best treatment for processing restaurant wastewater into clean water is using a combination of multilevel filters and 20% PES membrane ultrafiltration.

KATA PENGANTAR

Segala puji dan syukur dipanjatkan kepada Allah Swt. karena atas berkat dan rahmat-Nya yang telah memberikan nikmat sehat jasmani dan rohani sehingga penulis dapat menyelesaikan tugas akhir ini yang berjudul “Pengolahan Limbah Cair Rumah Makan Menjadi Air Bersih dengan Metode Kombinasi Saringan Pasir Bertingkat-Ultrafiltrasi Membran *Polyethersulfone* (PES)”. Shalawat beserta salam tidak lupa kepada junjungan Nabi besar Muhammad Saw. yang telah membawa umat manusia dari jaman jahiliyah ke zaman yang penuh ilmu pengetahuan.

Tugas akhir ini disusun sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar sarjana strata 1 pada program studi Teknik Lingkungan, Fakultas Sains dan Teknologi, Universitas Islam Negeri Ar-Raniry Banda Aceh. Selama penulisan tugas akhir ini penulis telah banyak mendapatkan bantuan dan dukungan, oleh karena itu penulis mengucapkan terima kasih terutama kepada Ayahanda Sabri Zulkifli dan Ibunda Asiah selaku orang tua penulis yang senantiasa memberikan do'a serta dukungan. Kemudian tidak lupa pula penulis ucapkan terima kasih dan penuh rasa hormat kepada :

1. Dr. Ir Dirhamsyah, M.T., IPU selaku Dekan Fakultas Sains dan Teknologi.
2. Ibu Husnawati Yahya, S.Si., M.Sc., selaku Ketua Program Studi Teknik Lingkungan.
3. Bapak Aulia Rohendi, S.T., M.Sc, selaku Sekretaris Program Studi Teknik Lingkungan dan selaku dosen Pembimbing Akademik.
4. Dr. Abd Mujahid Hamdan, M.Sc., selaku dosen pembimbing I tugas akhir yang telah mengarahkan dan memberikan saran maupun solusi demi mencapai penulisan yang baik dalam tugas akhir ini.
5. Dr. Fachrul Razi, ST., M.T selaku pembimbing II tugas akhir yang telah mengarahkan dan memberikan saran maupun solusi demi mencapai penulisan yang baik dalam tugas akhir ini.

6. Bapak Arief Rahman M.T. selaku Kepala Laboratorium Multifungsi Prodi Teknik Lingkungan Fakultas Sains dan Teknologi Universitas Islam Negeri Ar-Raniry Banda Aceh.
7. Bapak Hadi Kurniawan, M.Si. selaku Kepala Laboratorium Fakultas Sains dan Teknologi UIN Ar-Raniry.
8. Seluruh dosen Teknik Lingkungan yang telah bersedia mengajarkan banyak ilmu yang bermanfaat selama masa perkuliahan penulis.
9. Ibu Firda Elvisa, S.pd., dan Ibu Nurul Huda, S.Pd. yang telah banyak membantu penulis dalam hal administrasi.
10. Pihak Rumah Makan Istana yang telah memberikan kesediaan tempat untuk dijadikan bahan sampel dalam penelitian.
11. Teman-teman Teknik Lingkungan angkatan 18, terkhusus kelompok belajar yang telah banyak membantu dalam hal moril Dhiya Shaphira, S.T, Della Jaswita, S.T, Ira Maghfirah, S.T, Muhammad Fadhil Zainuddin, S.T, Salsabila Khalisa, Dian Fatziaty dan Riska Irayani.
12. Segala pihak yang telah membantu dalam keberlangsungan dan kelancaran dalam penelitian hingga penyusunan tugas akhir yang tidak dapat disebutkan satu persatu.

Penulis beranggapan bahwa tugas akhir ini merupakan karya terbaik yang dapat penulis persembahkan. Namun penulis sangat menyadari tidak tertutup kemungkinan di dalamnya terdapat banyak kekurangan, oleh karena itu kritik dan saran yang membangun sangat diharapkan. Akhir kata, semoga tugas akhir ini dapat bermanfaat bagi penulis dan pembaca, khususnya untuk perkembangan ilmu pengetahuan kedepannya baik dalam keilmuan Teknik Lingkungan maupun keilmuan lainnya.

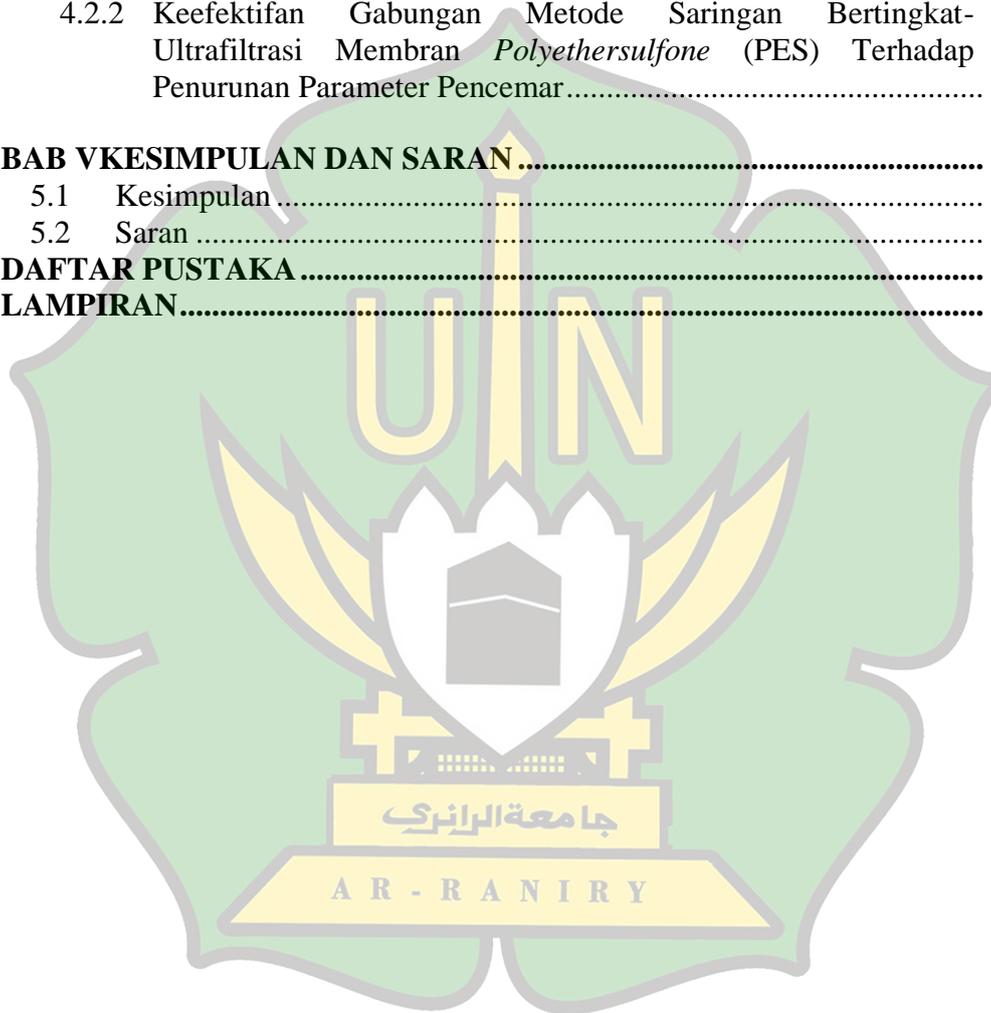
Banda Aceh, Desember 2022
Penulis

Intan Fadhilah

DAFTAR ISI

LEMBAR PERSETUJUAN TUGAS AKHIR.....	i
LEMBAR PENGESAHAN TUGAS AKHIR	ii
LEMBAR PERNYATAAN KEASLIAN TUGAS AKHIR	iii
ABSTRAK	iv
ABSTRACT	v
KATA PENGANTAR.....	vi
DAFTAR ISI.....	viii
DAFTAR GAMBAR.....	x
DAFTAR TABEL.....	xi
DAFTAR SINGKATAN DAN LAMBANG	xii
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah.....	4
1.3 Tujuan Penelitian	5
1.4 Batasan Masalah	5
1.5 Manfaat Penelitian	6
BAB II TINJAUAN PUSTAKA.....	7
2.1 Ketersediaan dan Permasalahan Air Bersih.....	7
2.2 Definisi Air Bersih.....	8
2.3 Limbah Cair Rumah Makan.....	10
2.4 Karakteristik Umum Air Limbah Rumah Makan	11
2.5 Teknologi Pengolahan Air Bersih.....	13
2.6 Teknologi Saringan Bertingkat	14
2.7 Teknologi Membran.....	18
2.8 Membran Berdasarkan Morfologi.....	20
2.9 Membran Ultrafiltrasi	20
2.10 Teknik Pembuatan Membran.....	21
BAB III METODOLOGI PENELITIAN	24
3.1 Kerangka Penelitian	24
3.2 Pengambilan Sampel.....	26
3.3 Pembuatan Saringan Bertingkat.....	29
3.4 Pembuatan Unit Ultrafiltrasi	31
3.5 Pembuatan Membran PES	33
3.6 Tahapan Pengujian Karakteristik Membran	35
3.7 Prosedur Eksperimen	38
3.8 Tahapan Pengujian Kinerja Metode Kombinasi Saringan Bertingkat-Ultrafiltrasi Membran PES	39

BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN.....	44
4.1 Hasil Ekperimen.....	44
4.1.1 Karakteristik Membran	44
4.1.2 Kinerja Metode Kombinasi Saringan Bertingkat-Ultrafiltrasi Membran PES Berdasarkan Kemampuan Menurunkan Parameter Pencemar.....	46
4.2 Pembahasan.....	50
4.2.1 Karakteristik Membran	50
4.2.2 Keefektifan Gabungan Metode Saringan Bertingkat-Ultrafiltrasi Membran <i>Polyethersulfone</i> (PES) Terhadap Penurunan Parameter Pencemar.....	53
BAB VKESIMPULAN DAN SARAN.....	60
5.1 Kesimpulan.....	60
5.2 Saran	60
DAFTAR PUSTAKA.....	62
LAMPIRAN.....	69



DAFTAR GAMBAR

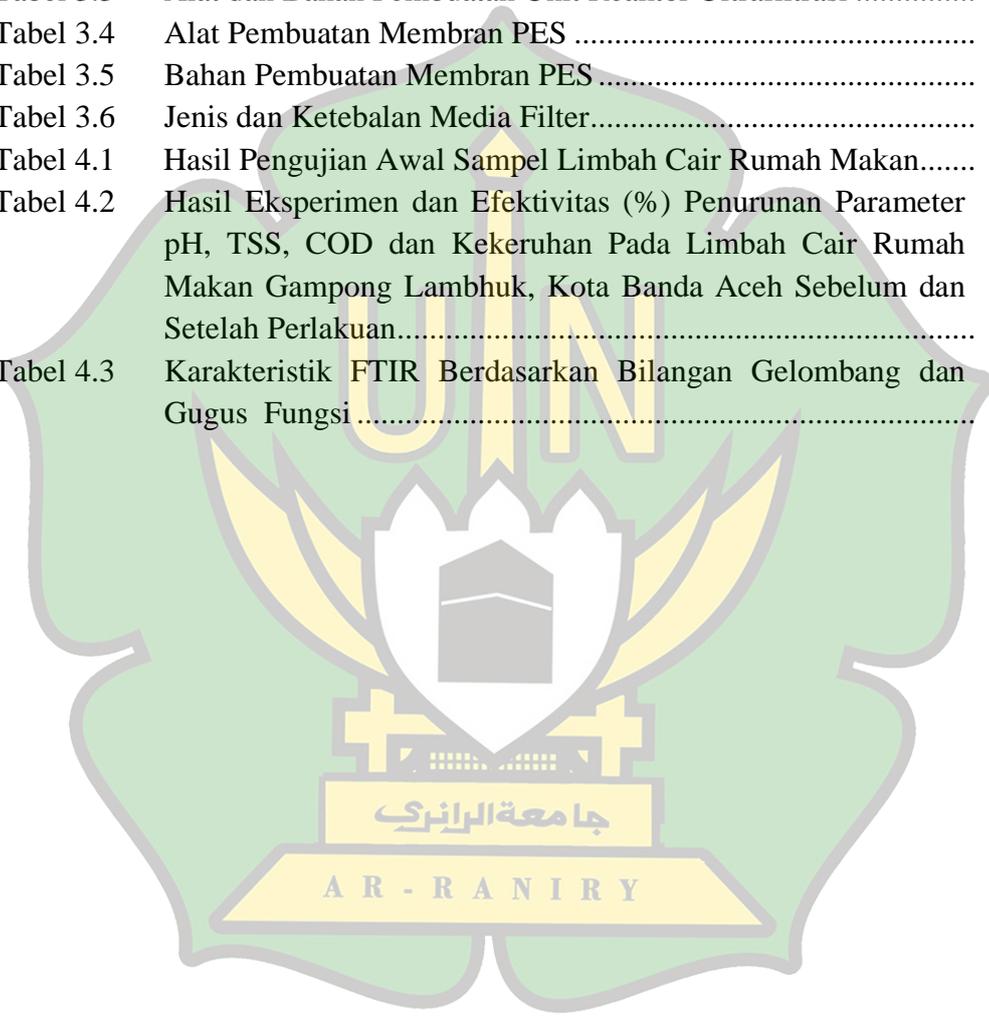
Gambar 2.1	Proses Pemisahan dengan Membran	19
Gambar 3.1	Diagram Alir Tahapan Penelitian	26
Gambar 3.2	Lokasi Pengambilan Sampel	27
Gambar 3.3	Bak Tempat Penampungan Limbah Rumah Makan.....	27
Gambar 3.4	Proses Pengambilan Sampel.....	28
Gambar 3.5	Unit Saringan Bertingkat (a) Dalam Bentuk Desain; (b) Saringan Bertingkat Dalam Bentuk Asli.	30
Gambar 3.6	Unit Ultrafiltrasi Membran (a) Unit Ultrafiltrasi Dalam Bentuk Desain; (b) Tampak Asli Unit Ultrafiltrasi.	32
Gambar 3.7	Prinsip Kerja Kerja FTIR	36
Gambar 4.1	SEM Permukaan dan Penampang Melintang Membran Flat PES (A-B) Membran PES 15%, (C-D) Membran PES 20%....	44
Gambar 4.2	Distribusi Ukuran Pori yang Terbentuk (a) Pada Membran PES 15%, dan (b) Pada Membran PES 20%	45
Gambar 4.3	FTIR membran PES 15% dan membran PES 20%	45
Gambar 4.4	Tampilan Fisik Limbah Cair Rumah Makan (a) Sebelum Eksperimen, (B) Setelah Eksperimen dengan Saringan Bertingkat, (C) Setelah Eksperimen dengan Ultrafiltrasi PES 15%, (D) Setelah Eksperimen dengan Ultrafiltrasi PES 20%..	49
Gambar 4.5	Grafik Perubahan pH.....	54
Gambar 4.6	Grafik Perubahan Nilai TSS.....	55
Gambar 4.7	Grafik Perubahan Nilai COD	56
Gambar 4.8	Grafik Perubahan Nilai Kekeruhan	58

جامعة الرانيري

A R - R A N I R Y

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1	Perbandingan Proses Membran Berbasis Gaya Dorong Tekanan.....	19
Tabel 3.1	Hasil Uji Pendahuluan Limbah Cair Rumah Makan	29
Tabel 3.2	Alat dan Bahan Pembuatan Unit Saringan Bertingkat.....	29
Tabel 3.3	Alat dan Bahan Pembuatan Unit Reaktor Ultrafiltrasi	31
Tabel 3.4	Alat Pembuatan Membran PES	33
Tabel 3.5	Bahan Pembuatan Membran PES	33
Tabel 3.6	Jenis dan Ketebalan Media Filter.....	38
Tabel 4.1	Hasil Pengujian Awal Sampel Limbah Cair Rumah Makan.....	46
Tabel 4.2	Hasil Eksperimen dan Efektivitas (%) Penurunan Parameter pH, TSS, COD dan Kekeruhan Pada Limbah Cair Rumah Makan Gampong Lambhuk, Kota Banda Aceh Sebelum dan Setelah Perlakuan.....	48
Tabel 4.3	Karakteristik FTIR Berdasarkan Bilangan Gelombang dan Gugus Fungsi	52



DAFTAR SINGKATAN DAN LAMBANG

SINGKATAN	Nama	Pemakaian pertama kali pada halaman
PES	<i>Polyethersulfone</i>	4
COD	<i>Chemical Oxygen Demand</i>	1
BOD	<i>Biological Oxygen Demand</i>	1
TSS	<i>Total Suspended Solid</i>	1
pH	<i>Power of Hydrogen</i>	1
mg/L	Miligram/Liter	14
mL	Mililiter	40
NTU	<i>Nephelometric Turbidity Unit</i>	42
SNI	Standar Nasional Indonesia	28
PP RI	Peraturan Pemerintah Republik Indonesia	2
PERMEN LHK	Peraturan Menteri Lingkungan Hidup dan Kehutanan	1
LAMBANG		
TiO ₂	Titanium dioksida	16
K ₂ Cr ₂ O ₇	Kalium dikromat	41

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Peranan air dalam setiap kegiatan atau keberlangsungan kehidupan manusia maupun makhluk hidup lain sangatlah penting. Menurut Lembaga Survei Geologi Amerika Serikat, 72% dari luas permukaan bumi tertutupi oleh air. Namun dinyatakan bahwa 92% dari air tersebut merupakan air asin dan tidak baik jika langsung dikonsumsi. 70% di antara air tersebut dalam bentuk es, sehingga tersisa kurang dari 1% dari air di dunia yang dapat dikonsumsi dan digunakan secara langsung (Simanjuntak, 2019). Meskipun Indonesia masuk dalam kategori negara yang memiliki persediaan air yang cukup banyak, namun kenyataan yang ada sekarang ini beberapa daerah di Indonesia juga memiliki banyak masalah krisis air bersih (Samekto dan Winata, 2016). Sedangkan sumber utama dari pencemaran air diakibatkan oleh limbah domestik, limbah industri dan limpasan kegiatan pertanian (Mulyati, 2018).

Menurut PERMEN LHK No. 68 tahun 2016 tentang Baku Mutu Air Limbah Domestik, limbah rumah makan juga termasuk kedalam klasifikasi limbah cair domestik. Limbah cair rumah makan mengandung lemak, bumbu serta sabun atau detergen yang digunakan dalam proses pencucian piring maupun peralatan memasak. Umumnya rumah makan tidak memiliki sistem pengolahan limbah sendiri sehingga limbah cair dengan kandungan tersebut akan langsung dibuang ke lingkungan dimana hal ini akan membawa pengaruh buruk bagi ekosistem dan biota air (Suastuti dkk., 2018).

Pengolahan yang kurang baik terhadap limbah cair yang dihasilkan oleh usaha rumah makan dapat menyebabkan peningkatan kadar *Biological Oxygen Demand* (BOD), *Chemical Oxygen Demand* (COD), *Total Suspended Solid* (TSS), kekeruhan dan minyak dan lemak, serta air sabun bekas pencucian peralatan makanan dan sisa makanan yang dibuang berpotensi mengandung fosfor serta bahan organik lainnya. Bahan kimia seperti antiseptik dan desinfektan yang

digunakan untuk pencucian peralatan makanan dan pembersih lantai bersifat asam, sehingga pH limbah dapat menjadi lebih rendah ($\text{pH} < 7$) dan tentunya tidak baik bagi lingkungan (Utomo dkk., 2018).

Berdasarkan pada PP RI Nomor 22 Tahun 2021 tentang Penyelenggaraan Perlindungan dan Pengelolaan Lingkungan Hidup, semua limbah domestik diwajibkan untuk diolah terlebih dahulu sehingga memenuhi baku mutu yang telah ditetapkan sebelum dibuang ke saluran umum seperti badan air. Dapat dilakukan penggunaan kembali, pendauran ulang, dan perolehan kembali manfaat air limbah. Namun pada umumnya, metode yang seringkali digunakan untuk pengolahan limbah cair rumah makan membutuhkan lahan yang luas dan pengoperasian yang sulit. Maka dari itu diperlukan suatu teknologi yang lebih mudah diaplikasikan dalam proses pengelolaan limbah cair rumah makan, dan salah satunya ialah penggunaan teknologi membran yang dapat digunakan dalam mengelola air limbah (Maharani dan Damayanti, 2013).

Permasalahan kualitas air semakin menarik atensi masyarakat, oleh karenanya banyak penelitian yang dilakukan terhadap penjernihan atau penurunan zat tertentu yang terkandung dalam air dengan menggunakan berbagai macam cara, baik dengan penambahan bahan kimia maupun bahan alami hingga menggunakan proses berteknologi tinggi namun tetap ramah lingkungan, salah satunya yang sedang dikembangkan sampai saat ini yaitu dengan menggunakan teknologi membran (Ariyanti dkk., 2020).

Membran adalah suatu lapisan yang tipis memiliki dua fasa fluida yaitu fasa umpan (*feed*) dan fasa permeat yang berfungsi sebagai penghalang terhadap suatu spesi tertentu, membran dapat melakukan pemisahan zat dengan ukuran tertentu. (Mutia, 2016). Metode ini dapat juga diterapkan dalam pengolahan air limbah rumah makan menjadi air bersih seperti yang ditetapkan dalam Peraturan Menteri Kesehatan Republik Indonesia Nomor 32 Tahun 2017 Tentang Standar Baku Mutu Kesehatan Lingkungan dan Persyaratan Kesehatan Lingkungan dan Persyaratan Kesehatan Air untuk Keperluan Higiene Sanitasi, Kolam Renang, Solus Per Aqua dan Pemandian Umum. Jenis dan klasifikasi membran yang telah dikembangkan sampai saat ini sangatlah beragam, baik dari bahan yang

digunakan, cara pembuatan hingga fungsi yang berbeda pula. Teknologi membran ini sudah sering digunakan dalam berbagai skala, baik skala kecil maupun besar. Menurut Rahayu (2017) dalam beberapa tahun terakhir, keberadaan teknologi membran sangat banyak dimanfaatkan dalam beberapa bidang seperti penggunaan teknologi membran dalam pengolahan limbah industri (Agustina, 2006), aplikasi bioreaktor membran pada pengolahan air limbah dan lindi TPA (Yakobus, 2016), aplikasi membran keramik berbasis tanah liat alam dan zeolit pada pengolahan air limbah hasil proses laundry (Nasir dkk, 2013), dan dalam proses desalinasi air laut menjadi air minum, sampai digunakan dalam pencucian darah. Maka dari itu, sampai saat ini teknologi membran terus dikembangkan demi untuk memperoleh hasil membran yang murah dan mudah diproduksi, sehingga efektif jika digunakan untuk mengolah air kotor menjadi air yang layak digunakan kembali.

Jika berdasarkan ukuran partikel yang difiltrasi, membran diklasifikasikan menjadi mikrofiltrasi, ultrafiltrasi, nanofiltrasi dan reverse osmosis. Dimana membran ultrafiltrasi memiliki pori-pori yang lebih kecil dari membran mikrofiltrasi, oleh karena itu selain dapat menahan partikel besar dan mikroorganisme, membran ultrafiltrasi juga dapat menahan bakteri dan makromolekul larut seperti protein (Kurniawan dan Mariadi, 2016). Maka dapat dikatakan bahwa membran ultrafiltrasi sifatnya berada diantara mikrofiltrasi dan nanofiltrasi, sehingga dapat merejeksi COD dan surfaktan pada limbah cair berminyak hingga 94,89 – 98,83% dalam penelitian (Maria Widyasmara dan Cindika Kusuma Dewi, 2013), dan dalam pengolahan limbah cair industri kelapa sawit dapat menurunkan kadar COD sebesar 97,66% dan kadar TSS sebesar 98% (Agustina, 2006).

Pemilihan polimer yang tepat sangat mempengaruhi kinerja membran dalam proses filtrasi yang akan dilakukan, ada beberapa jenis polimer yang sering kali digunakan dalam proses membran ultrafiltrasi, salah satu membran yang dapat digunakan adalah membran *Polyethersulfone* (PES). Membran PES memiliki sifat mekanik yang baik, stabilitas termal yang tinggi, stabilitas oksidatif dan toleransi terhadap pelarut (Rahmah dkk., 2022). Oleh karena itu, membran PES telah

banyak dikembangkan dan dimodifikasi sedemikian rupa untuk meningkatkan kualitasnya dan dipandang menjanjikan sebagai media pengolahan air.

Namun demikian membran juga memiliki kekurangan karena adanya *fouling* yang mengakibatkan fluks permeasi yang rendah. Oleh karenanya untuk mengantisipasi terjadinya *fouling* yang cepat pada filtrasi dengan membran maka metode ultrafiltrasi membran dikombinasikan filtrasi awal dengan saringan bertingkat dengan komposisi yang terdiri dari pasir, kerikil, arang dan zeolit yang dapat menurunkan kadar parameter BOD sebesar 83,18%, TSS sebesar 83,05%, dan kadar minyak lemak sebesar 90%. Sistem ini bekerja cukup efektif karena bahan-bahan anorganik yang digunakan rata-rata memiliki kemampuan untuk menurunkan kadar bahan pencemar di dalam air limbah, baik melalui proses filtrasi maupun proses penyerapan (Nilasari dkk, 2016).

Terlepas dari banyak keuntungan dari metode ini, metode ini tidak pernah diterapkan pada pengolahan limbah cair rumah makan menjadi air bersih. Oleh karena itu, sangat penting untuk diteliti dan mempelajari kebaruan metode ini. Tapi sebelum metode ini diaplikasikan dalam skala yang jauh lebih besar, maka perlu dilakukan penelitian dalam skala kecil atau di laboratorium untuk melihat keefektifannya dan mengetahui kekurangannya selama penelitian berjalan.

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang yang telah diuraikan, dapat diambil rumusan masalah sebagai berikut:

Membran PES merupakan salah satu membran polimer yang telah banyak dimodifikasi dan dipandang menjanjikan dalam hal pengolahan kualitas air, namun sejauh ini masih sangat jarang ada penelitian lebih lanjut mengenai pengaplikasian membran PES dan kombinasi saringan bertingkat dalam pengelolaan limbah cair rumah makan.

Maka dari itu, yang akan menjadi fokus dalam penelitian ini adalah:

1. Mempelajari bagaimana karakteristik yang dihasilkan dari pembuatan membran ultrafiltrasi PES ditinjau dari nilai fluks, analisis morfologi dan

komposisi kimia untuk mencapai hasil pengelolaan air bersih yang optimum?

2. Mempelajari bagaimana efektivitas kombinasi metode saringan bertingkat dan teknologi ultrafiltrasi membran PES dalam pengelolaan limbah cair rumah dengan target parameter pH, TSS, COD dan kekeruhan?

1.3 Tujuan Penelitian

Dari rumusan masalah yang telah disebutkan di atas maka di rumuskanlah tujuan masalah sebagai berikut ini :

1. Untuk mengetahui karakteristik dari ultrafiltrasi membran PES ditinjau dari nilai fluks, analisis morfologi dan komposisi kimia.
2. Untuk mengetahui efektivitas kombinasi metode saringan bertingkat dan ultrafiltrasi membran PES dalam penurunan kadar pH, TSS, COD, dan kekeruhan yang ada pada limbah cair rumah makan.

1.4 Batasan Masalah

Berdasarkan latar belakang, manfaat dan tujuan penelitian yang telah dijelaskan di atas, maka peneliti menganggap perlu membuat batasan penelitian supaya penelitian ini fokus pada objek yang ingin diteliti dan pembahasannya tidak terlalu luas kepada aspek-aspek yang jauh dari relevansi. Maka dari itu, peneliti akan membatasi masalah mengenai pengolahan limbah cair rumah makan menjadi air bersih menggunakan metode kombinasi saringan bertingkat dan ultrafiltrasi membran PES. Penelitian hanya sebatas:

1. Untuk menurunkan kadar parameter yang telah ditetapkan sebelumnya antara lain pH, TSS, COD, dan kekeruhan yang akan disesuaikan dengan baku mutu yang telah ditetapkan dalam PERMEN LHK No. 68 tahun 2016 Tentang Baku Mutu Limbah Domestik, serta Peraturan Menteri Kesehatan Republik Indonesia Nomor 32 Tahun 2017 Tentang Standar Baku Mutu Kesehatan Lingkungan dan Persyaratan Kesehatan Lingkungan dan Persyaratan Kesehatan Air untuk Keperluan Higiene Sanitasi, Kolam Renang, Solus Per Aqua dan Pepulimandian Umum.

2. Untuk pembuatan saringan bertingkat dan ultrafiltrasi membran PES akan menggunakan alat dan bahan yang tersedia di laboratorium maupun di pasaran.

1.5 Manfaat Penelitian

Dalam penelitian pastinya mempunyai manfaat penelitian yang hendak dicapai, baik bagi peneliti maupun pihak lain yang bersangkutan dalam penelitian ini, maka dari itu manfaat penelitian ini berdasarkan penjelasan yang telah diuraikan di atas yaitu:

1. **Manfaat Teoritis**

Hasil analisis dari penelitian ini diharapkan dapat menjadi suatu pengembangan dalam keilmuan teknik lingkungan khususnya dan memberikan informasi yang baik dalam pengelolaan limbah cair yang berbasis lingkungan dengan menggunakan metode kombinasi saringan bertingkat-teknologi ultrafiltrasi membran sebagai media pengolahan air limbah. Sehingga dapat dijadikan sebagai referensi maupun literatur jika ada yang melakukan penelitian yang lebih mendalam di masa mendatang.

2. **Manfaat Praktis**

Dengan melakukan penelitian ini, tinggi harapan peneliti dapat menambah wawasan pengetahuan dalam bidang lingkungan, khususnya dalam proses pengelolaan lingkungan dengan menggunakan media yang alami, sehingga aspek yang lain pun ikut terjaga.

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Ketersediaan dan Permasalahan Air Bersih

Menurut Sasongko dkk (2014) air merupakan salah satu bahan alam yang sangat diperlukan dalam kehidupan baik manusia, hewan dan tumbuhan yang mempunyai peran sebagai sumber energi dan juga pengangkut zat-zat makanan serta berbagai fungsi lainnya. Dalam peraturan Menteri Pekerjaan Umum Nomor 14/PRT/M/2010/ tentang Standar Pelayanan Minimal Bidang Pekerjaan Umum dan Penataan Ruang menyebutkan bahwa kebutuhan air rata-rata secara wajar memerlukan 60 l/orang/hari untuk memenuhi segala kebutuhannya. Disebutkan juga dalam Undang-Undang Republik Indonesia Nomor 17 Tahun 2019 tentang Sumber Daya Air bahwa air merupakan sebagai bagian dari sumber daya air menjadi cabang produksi penting dan menguasai hajat hidup orang banyak. Dan dinyatakan juga bahwa negara akan menjamin hak rakyat atas air dalam memenuhi kebutuhan pokok minimal harian bagi kehidupan yang sehat dan bersih dengan kuantitas yang cukup, kualitas yang baik, aman, terjaga, keberlangsungan dan terjangkau.

Status mutu suatu perairan yaitu tingkat kondisi mutu suatu perairan menunjukkan kondisi cemar atau kondisi terjaga dalam waktu tertentu dengan dibandingkan dengan baku mutu yang telah ditentukan (Hamuna dkk, 2018). Sumber daya air merupakan sumber daya alam yang pada saat ini penurunan kuantitas dan kualitasnya menjadi masalah dunia, jaminan dalam ketersediaan air bersih secara berkelanjutan mulai digunakan (Kurniasih, 2002). Terkontaminasi bahan pencemar yang berasal dari aktivitas industri, peternakan, pertanian, maupun kegiatan rumah tangga menjadi penyebab utama penurunan kualitas air yang cukup signifikan terhadap badan air seperti sungai, danau maupun waduk (Priadie, 2012). Ini juga dinyatakan oleh Sasongko dkk (2014) yaitu kualitas air yang menurun yang disebabkan oleh kegiatan industri, domestik, dan kegiatan lain menjadi masalah utama. Penurunan kualitas air ini dapat dilihat dari

perubahan warna air dan bau, dan suatu sungai dapat dikatakan tercemar jika kualitas airnya sudah tidak sesuai dengan peruntukannya. Kualitas air ini didasarkan pada baku mutu kualitas air sesuai dengan kelas sungai yang berdasarkan Peraturan Pemerintah Nomor 82 Tahun 2001 tentang Pengelolaan Kualitas Air dan Pengendalian Pencemaran Air (Pohan dkk, 2017).

2.2 Definisi Air Bersih

Air adalah kebutuhan primer manusia dalam kehidupan sehari-hari dimana hampir semua aktivitas manusia membutuhkan air bersih, baik untuk keperluan minum, mencuci, mandi dan lain sebagainya (Sutandi, 2018). Air bersih merupakan salah satu kebutuhan vital bagi tiap manusia dan juga makhluk hidup lainnya tanpa air manusia tidak dapat melangsungkan hidupnya, karena setiap aktivitas manusia memerlukan air, misalnya pada aktivitas tempat tinggal, industri, perkantoran, pertanian dan lain sebagainya (Aba dkk., 2020). Kelas satu merupakan air yang peruntukannya dapat digunakan untuk air baku air minum, dan/atau peruntukan lain yang mempersyaratkan mutu air yang sama dengan kegunaan tersebut.

Menurut Triono (2018), air yang dipakai sebagai kebutuhan hidup sehari-hari wajib memenuhi persyaratan yang diatur pada Peraturan Menteri Kesehatan Republik Indonesia Nomor 32 Tahun 2017 mengenai Standar Baku Mutu Kesehatan Lingkungan dan Persyaratan Kesehatan Air untuk Keperluan Higiene Sanitasi.

Berdasarkan ketentuan badan dunia (WHO) maupun badan setempat (Departemen Kesehatan) dan juga ketentuan atau peraturan lain yang berlaku seperti APHA (*American Public Health Association* atau Asosiasi Kesehatan Masyarakat AS), layak tidaknya air untuk kehidupan manusia ditentukan berdasarkan persyaratan kualitas secara fisik, kimia dan biologis (Quddus, 2014).

1. Persyaratan Fisik

Secara fisik air bersih harus jernih, tidak berbau dan tidak berasa. Selain itu juga suhu air bersih sebaiknya sama dengan suhu udara atau kurang lebih 25°C,

dan apabila terjadi perubahan maka batas maksimum adalah $25^{\circ}\text{C} \pm 30^{\circ}\text{C}$. Batas maksimum kekeruhan air yaitu 25 NTU dan warna air 50 TCU.

a. Kekeruhan

Kekeruhan air dapat ditimbulkan oleh adanya bahan-bahan organik dan anorganik seperti lumpur dan buangan seperti sisa makanan yang menyebabkan air limbah menjadi keruh. Kekeruhan walaupun hanya sedikit dapat menyebabkan warna yang lebih tua dari warna sebenarnya. Air yang mengandung kekeruhan tinggi akan mengalami kendala jika diproses untuk sumber air bersih, seperti dalam proses penyaringan. Kekeruhan pada air bersih umumnya telah diupayakan sedemikian rupa sehingga menjadi jernih.

b. Bau

Bau pada air dapat dideteksi dengan menggunakan hidung, biasa disebabkan karena adanya benda asing yang masuk ke dalam air seperti bangkai binatang, bahan buangan, ataupun disebabkan karena proses penguraian senyawa organik oleh bakteri. Pada proses penguraian senyawa organik oleh bakteri akan menghasilkan gas-gas berbau menyengat bahkan ada yang beracun. Pada proses penguraian ini akan berakibat pada peningkatan penggunaan oksigen terlarut dalam air (BOD) dan mengurangi kuantitas oksigen terlarut dalam air (DO).

c. Rasa

Rasa yang terdapat di dalam limbah cair seperti hasil buangan dihasilkan oleh kehadiran bakteri dan mikroalgae ataupun kemungkinan adanya sisa-sisa bahan yang digunakan untuk disinfeksi misalnya klor.

2. Persyaratan kimiawi

Pada air bersih tidak boleh mengandung bahan-bahan kimia dalam jumlah yang melampaui batas. Beberapa persyaratan kimia antara lain : pH berkisar antara 6,5 – 9,0, total solid, zat organik, CO_2 agresif, kesadahan, kalsium (Ca), besi (Fe), mangan (Mn), tembaga (Cu), seng (Zn), chloride (Cl), nitrit, flourida (F), serta logam berat.

3. Persyaratan Bakteriologis

a. Bakteri

Bakteri adalah kelompok mikroorganisme yang penting pada penanganan air. Bakteri ialah jasad renik yang sederhana, tidak berwarna, satu sel, Bakteri berkembangbiak dengan cara membelah diri, setiap 15 – 30 menit pada lingkungan yang ideal. Bakteri bertahan hidup dengan memanfaatkan makanan terlarut dalam air. Bakteri biasa berperan dalam dekomposisi unsur organik dan akan menstabilkan buangan organik. Bakteri *Escherichia coli* yaitu koliform merupakan bakteri yang biasa menjadi indikator penentuan kualitas air yang diperhatikan.

b. Virus

Virus merupakan makhluk yang bukan organisme sempurna, antara benda hidup dan tidak hidup, berukuran sangat kecil antara 20 – 100 nm atau sebesar 1/50 kali ukuran bakteri. Virus pada air minum dapat menyebabkan masalah kesehatan, namun hal ini tidak terlalu menjadi perhatian pada air bersih yang tidak dikonsumsi secara langsung oleh manusia.

2.3 Limbah Cair Rumah Makan

Menurut peraturan Menteri Kesehatan RI No. 304/Menkes/per/89 tentang Persyaratan Rumah Makan, definisi restoran/rumah makan adalah suatu jenis usaha jasa pangan yang bertempat di sebagian atau seluruh bangunan permanen, dan dilengkapi oleh peralatan dan perlengkapan untuk proses pembuatan, penyimpanan, dan penjualan makanan dan minuman bagi umum di tempat usahanya (Surabaya, 2019). Limbah cair didefinisikan sebagai buangan cair yang berasal dari suatu lingkungan masyarakat dan lingkungan industri dimana komponen utamanya adalah air yang telah digunakan dan mengandung benda padat yang terdiri dari zat-zat organik dan anorganik (Mardianto, 2014). Air limbah adalah air yang dikeluarkan oleh industri akibat proses produksi dan pada umumnya sulit diolah karena biasanya mengandung beberapa zat seperti: pelarut organik zat padat terlarut, suspended solid, minyak dan logam berat. Sedangkan menurut PP RI Nomor 22 Tahun 2021 tentang Penyelenggaraan

Perlindungan dan Pengelolaan Lingkungan Hidup, dimana diwajibkan semua air limbah domestik harus diolah terlebih dahulu sebelum dibuang ke saluran umum serta memenuhi baku mutu sesuai Keputusan Menteri Negara Lingkungan Hidup No.: Kep-51/MENLH/10/1995 sedangkan untuk kegiatan yang berada di wilayah DIY baku mutu mengacu pada Perda DIY Nomor 10 Tahun 2017 (Purnawan dkk, 2018). Sumber utama air limbah rumah makan/restaurant yaitu berasal dari pencucian peralatan makanan, air buangan dan sisa makanan, seperti lemak, nasi, sayuran dan lain-lain. Kurangnya pengolahan terhadap air limbah yang dihasilkan oleh rumah makan/restaurant yang menyebabkan meningkatnya kadar BOD, COD dan fosfor dalam badan air dapat mengindikasikan adanya pencemaran dalam badan air (Zahra dan Purwanti, 2015).

2.4 Karakteristik Umum Air Limbah Rumah Makan

Karakteristik air limbah rumah makan secara garis besar digolongkan sebagai berikut (Pemerintah Kota Surabaya, 2019):

1. Karakteristik Fisik

Air limbah rumah makan sebagian besar terdiri dari air dan sedikit zat padat/tersuspensi. Air limbah cenderung berwarna gelap (coklat kehitaman) dan berbau, karena terdapat banyak kandungan minyak dan lemak, sisa makanan, dan deterjen dari bekas cucian alat masak dan alat makan.

2. Karakteristik Kimiawi

Secara kimiawi, air limbah rumah makan lebih banyak mengandung zat-zat organik dari proses pencucian alat masak dan alat makan. Beberapa rumah makan menghasilkan air limbah yang mengandung minyak dan lemak lebih banyak dari pada rumah makan yang lain, tergantung dari jenis menu makanan yang ditawarkan.

3. Karakteristik Biologis

Air limbah yang tidak diolah terlebih dahulu akan menyebabkan berbagai gangguan kesehatan masyarakat dan lingkungan hidup, antara lain:

- a. Menjadi transmisi atau media penyebaran berbagai penyakit terutama kolera, typhus abdominalis, dan disentri baciler.
- b. Menjadi media berkembangnya mikroorganisme patogen.
- c. Menjadi tempat berkembangnya nyamuk atau tempat hidup larva nyamuk.
- d. Menimbulkan bau yang tidak enak serta pandangan yang tidak sedap.
- e. Merupakan sumber pencemaran air permukaan, tanah, dan lingkungan hidup lainnya.
- f. Mengurangi produktivitas manusia karena orang bekerja dengan tidak nyaman dan sebagainya.

Berikut beberapa parameter utama yang digunakan sebagai indikasi karakteristik air limbah, parameter tersebut adalah :

1. *Total Suspended Solid (TSS)*

TSS atau zat padat tersuspensi sendiri dapat diartikan sebagai padatan yang terlarut dalam air berupa bahan organik dan anorganik dengan ukuran $\geq 0,45\mu\text{m}$. Materi yang tersuspensi ini mempunyai dampak buruk terhadap kualitas air karena mengurangi penetrasi cahaya matahari ke dalam badan air. Kekeruhan air yang meningkat akan menyebabkan gangguan pertumbuhan bagi tanaman dalam air. TSS yang ada pada air limbah restoran/ rumah makan sekitar 25 kali lebih tinggi dibanding dengan air limbah permukiman.

2. *Biological Oxygen Demand (BOD)*

BOD merupakan parameter penting sebagai indikator pencemaran air. Dalam air buangan terdapat zat organik yang terdiri, dari unsur karbon, hidrogen dan oksigen dengan unsur tambahan yang lain seperti nitrogen, phosphat dan lain-lain yang cenderung menyerap oksigen. Oksigen digunakan untuk menguraikan senyawa organik. Nilai BOD menyatakan kebutuhan oksigen terlarut (OT) yang dibutuhkan oleh mikroorganisme untuk menguraikan kandungan zat organik dalam air limbah. Kadar BOD dalam air limbah restoran/rumah makan dapat melebihi 1.000 mg/L atau 3,5-6,5 lebih tinggi dari air limbah permukiman.

3. *Chemical Oxygen Demand (COD)*

COD adalah jumlah total oksigen yang dibutuhkan untuk mengoksidasi bahan organik secara kimiawi, baik yang dapat didegradasi secara biologis (biodegradable) maupun yang sukar didegradasi secara biologis (non degradable).

4. Minyak dan Lemak

Minyak dan lemak banyak dihasilkan dari proses pengolahan makanan. Restoran/rumah makan dengan menu tertentu, seperti masakan Indonesia, Chinese, dan seafood banyak menghasilkan komponen ini. Minyak dan lemak akan ikut terbuang ke badan air pada saat proses pencucian alat masak dan alat makan. Tanpa adanya pengolahan limbah, minyak dan lemak dapat mengurangi kualitas badan air dan mengganggu kehidupan biota air.

2.5 Teknologi Pengolahan Air Bersih

Menurut Herlambang dan Said (2018), kualitas sumber air yang ada dan kualitas air hasil olahan yang diinginkan sangat menentukan dalam pemilihan teknologi pengelolaan air yang tepat, dimana dinyatakan bahwa semakin baik kualitas air yang tersedia, maka biaya dalam pengelolaannya akan relatif lebih murah. Dengan adanya permasalahan dalam pengelolaan air tersebut, maka banyak bermunculan para ahli dalam meneliti dan menciptakan berbagai teknologi pengelolaan air bersih, diantaranya :

a. Filtrasi

- Filtrasi atau penyaringan adalah proses pemisahan komponen padatan yang terkandung di dalam air dengan melewatkannya melalui media yang berpori atau bahan berpori lainnya dengan tujuan memisahkan padatan dalam air tersebut. Kemudian, penyaringan juga dapat mengurangi kandungan bakteri, bau, rasa, mangan, dan besi.
- pengembangan teknologi pengelolaan air dengan menggunakan saringan pasir lambat (Sarpalam), yaitu teknologi pengelolaan air yang sangat sederhana dengan kualitas yang baik (Pengkajian dkk, 2009).

- Proses filtrasi dengan membran, bekerja dengan prinsip yang cukup sederhana, yaitu senyawa dengan ukuran molekul yang lebih besar dibandingkan pori-pori membran akan tertahan (Arahman, 2017).

b. Bioremediasi

Yaitu metode pengelolaan air dengan menggunakan mikroorganisme tertentu yang telah dipilih dan kemudian ditumbuhkan pada sampel air untuk menurunkan kadar polutan (Priadie, 2012).

c. Fitoremediasi

Yaitu metode pengolahan air dengan memanfaatkan tanaman sebagai media, dan diaplikasikan ke sampel, fitoremediasi bekerja dengan prinsip zat kontaminan akan diserap ke dalam tanaman tersebut. Metode ini banyak digunakan karena terbilang mudah, murah, dan ramah lingkungan, namun metode ini masih berupa metode konvensional (Ilmannafian dkk, 2020).

2.6 Teknologi Saringan Bertingkat

Saringan Pasir bertingkat termasuk salah satu metode filtrasi dalam sistem pengelolaan limbah yang merupakan proses memisahkan padatan dari cairan menggunakan media berpori untuk menghilangkan padatan tersuspensi dan koloid sebanyak mungkin, serta zat lainnya, dengan komposisi bahan yang digunakan pada metode filtrasi ini yaitu pasir silika (40 cm), zeolit (40 cm), dan arang (40 cm), kerikil dan ijuk diisi dalam permukaan pipa sampel. Dengan komposisi tersebut dapat menurunkan kadar TSS sebesar 86.64% dan COD sebesar 85.53% dalam limbah industri tempe (Puspawati, 2017).

Berdasarkan dalam penelitian pengolahan air limbah rumah tangga dengan menggunakan proses gabungan saringan bertingkat dengan komposisi pasir silika (70 cm), Kerikil (15 cm), arang aktif (20 cm), zeolit (40 cm) dapat menurunkan kadar BOD sebesar 83,16%, TSS sebesar 83,05%, minyak dan lemak sebesar 90% (Nilasari dkk., 2016). Penggunaan sistem filtrasi bertingkat dalam pengolahan air limbah bekas pencucian botol plastik dengan media yang digunakan yaitu batu zeolit, pasir silika, arang dan filter sintesis PES dapat

menurunkan kadar COD dari 864 mg/l menjadi 696 mg/l dan kadar TSS dari 80 mg/l menjadi 50 mg/l (Syahputra, 2018).

Komposisi dari bahan-bahan yang digunakan memiliki pengaruh dalam menurunkan bahan pencemar pada limbah cair, baik melalui proses filtrasi maupun proses penyerapan (Nilasari dkk., 2016). Pasir silika memiliki fungsi untuk menghilangkan sifat fisik seperti kekeruhan, lumpur dan bau dengan mekanisme menyaring kotoran dan air, pemisah. Kerikil berperan dalam penyarin kotoran-kotoran halus. Arang yang mempunyai daya serap/adsorpsi yang tinggi terhadap bahan yang berbentuk larutan atau uap. Zeolit dapat melepaskan molekul air dari dalam permukaan rongga yang menyebabkan medan listrik meluas ke dalam rongga utama dan efektif berinteraksi dengan molekul yang diadsorpsi, sehingga zeolit dapat menyerap senyawa kimia seperti COD (Puspawati, 2017).

1. Pasir Silika

Pasir silika merupakan bahan galian yang terdiri dari kristal-kristal silika (SiO_2) dan mengandung senyawa pengotor yang berasal akibat terbawa pada proses pengendapan. Komposisi pasir silika terdiri dari gabungan SiO_2 , Fe_2O_3 , Al_2O_3 , TiO_2 , CaO , MgO dan K_2O yang pada umumnya memiliki warna putih bening atau bisa memiliki warna lain sesuai senyawa pengotor yang dimiliki pasir silika tersebut. Pasir silika sering digunakan untuk pengolahan air kotor menjadi air bersih (Ronny dan Syam, 2018). Pasir silika juga merupakan salah satu mineral yang umum ditemukan di kerak kontinen bumi, mineral ini memiliki struktur kristal heksagonal yang terbuat dari silika trigonal terkristalisasi. Pasir silika ini memiliki manfaat untuk kehidupan, seperti dapat digunakan untuk bahan baku pembuatan keramik, kaca dan untuk media filtrasi air (Izaak dan Wijaya, 2020).

Pasir silika atau pasir kuarsa adalah pasir lepas berwarna putih bening sedikit kekuning-kuningan dengan bentuk rata-rata bersudut tumpul. Pasir silika memiliki rumus kimia SiO_2 dan memiliki ketahanan yang cukup tinggi terhadap cuaca. Pasir silika ini dapat digunakan sebagai bahan filtrasi terutama berfungsi

untuk proses penyaringan oleh rongga-rongga antar butiran pasir silika. Kemampuan pasir silika dalam menyaring ditentukan oleh tingkat porositas dan luas permukaannya. Apabila pasir tersebut memiliki tingkat porositas yang tinggi dan luas permukaan yang lebar, maka akan menghasilkan tingkat kemampuan penyaringan yang tinggi pula. Porositas media filtrasi tergantung pada susunan butiran pasir di dalam lapisan media. Fungsi pasir silika dapat menghilangkan sifat fisik air yang kotor, seperti kekeruhan, lumpur dan bau (Rahmawati, 2009).

2. Karbon Aktif

Karbon aktif merupakan karbon yang diolah sedemikian rupa sehingga pori-porinya terbuka dan akan mempunyai daya serap yang cukup tinggi. Karbon aktif merupakan karbon yang bebas dan juga memiliki permukaan dalam (internal surface) sehingga memiliki kemampuan daya serap yang baik. Kemampuan daya serap karbon aktif tergantung pada jumlah senyawa karbon yang dimiliki berkisar antara 85% hingga 95% karbon bebas. Karbon aktif ini dapat digunakan sebagai bahan penyerap logam, gas, bahan pemucat dan dapat menghilangkan bahan-bahan organik, surfaktan, bau dan lain sebagainya. Pada proses filtrasi karbon aktif ini terjadi proses adsorpsi, yaitu proses menghilangkan zat-zat pencemar oleh permukaan karbon aktif (Mifbakhuddin, 2014).

Karbon aktif adalah bahan padat yang berpori dihasilkan dari proses pembakaran dengan menggunakan bahan yang mengandung karbon. Pada umumnya karbon aktif sering digunakan untuk bahan bakar. Selain itu, karbon aktif juga sering digunakan untuk adsorben atau penyerap. Karena memiliki permukaan yang luas, pengaplikasian yang mudah dan memiliki harga yang relatif murah. Karbon aktif dapat dibuat menggunakan bahan yang alami, sehingga dapat meminimalisir terjadinya pencemaran lingkungan. Karbon aktif memiliki 85% sampai 90% karbon yang dihasilkan dari bahan mengandung karbon dan memiliki suhu tinggi. Komponennya terdiri dari abu, sulfur, karbon terikat, nitrogen dan air (Khuluk, 2016). Keuntungan dari pemakaian karbon aktif sebagai media filter adalah pengoperasian mudah karena air mengalir dalam media karbon, proses berjalan cepat karena ukuran butir karbon relatif lebih besar dan karbon tidak

bercampur dengan lumpur, sehingga dapat dilakukan regresi (Asadiya dan Karnaningroem, 2018).

3. Zeolit

Struktur zeolit tersusun atas aluminium, silika, dan oksigen. Atom silikon dan aluminium memiliki bentuk yang tetrahedral dengan menggunakan penggunaan bersama atom oksigen. Zeolit mempunyai sifat yang stabil dalam keadaan suhu lebih dari 500°C dan radiasi pengion sehingga dapat digunakan untuk menghilangkan kation radioaktif. Zeolit bisa dimanfaatkan menjadi material filtrasi lantaran sanggup untuk memisahkan molekul menurut ukuran, bentuk, polaritas dan derajat ketidakjenuhan. Zeolit dapat dengan mudah untuk dimodifikasi menggunakan cara sintesis langsung untuk menaikkan kandungan silika sehingga dapat menaikkan sifat hidrofobik dalam zeolit (Flanigel dkk., 2017).

Menurut Artiyani dan Firmansyah (2016), Berdasarkan pemanfaatannya zeolit mempunyai berbagai jenis sifat, yaitu:

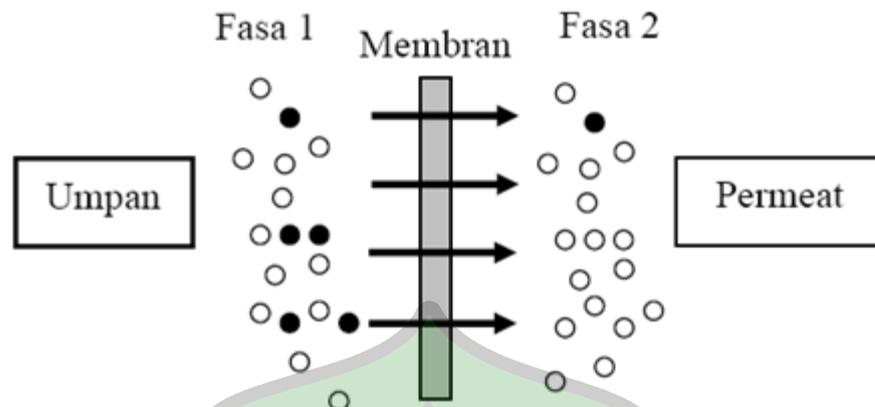
- a. Dehidrasi, zeolit mampu untuk melepaskan molekul air yang ada pada rongga permukaannya. Pelepasan molekul air ini mengakibatkan medan listrik meluas ke dalam rongga primer sebagai rongga utama dan berinteraksi menggunakan molekul yang akan diabsorpsi.
- b. Adsorpsi, zeolit mempunyai kristal yang akan melepaskan molekul air yang terisi dalam rongga hampa atau kosong (void) saat dipanaskan dengan menggunakan suhu 300-400°C. Nantinya, hal ini akan mengakibatkan zeolit mempunyai kemampuan untuk mengadsorpsi atau menyerap cairan atau gas. Selektivitas adsorpsi zeolit terhadap molekul tertentu dapat dimodifikasi melalui pertukaran kation, dekationisasi, dealuminasi secara hidrotermal dan pengubahan rasio Si/Al.

4. Batu Kerikil

Batu kerikil merupakan butiran batu lebih kecil dari batuan kerikil sedang (kira-kira sebesar biji nangka atau biji kacang tanah) dan lebih besar dari pasir. Batu kerikil bersifat seperti butir pasir dan dapat dikategorikan ke dalam batu pasir yang mengandung silika. Pada umumnya bertekstur halus dan berbentuk menyerupai bulatan akibat pecahan batu gunung yang terseret air hingga ke laut dan selama ribuan tahun saling beradu dan akhirnya terkikis oleh air. Oleh karena itu, batu kerikil dapat diperoleh di daerah pesisir pantai yang tersedia dengan berbagai macam ukuran, bentuk dan warna. Batu kerikil berfungsi berfungsi sebagai celah agar air dapat mengalir melalui lubang bawah, sehingga dapat menyaring kotoran-kotoran kasar dan zat pencemar lainnya (Fajri dkk., 2017)

2.7 Teknologi Membran

Awal kata Membran berasal dari bahasa Latin “membrana” yaitu kulit kertas. Namun saat ini kata “membran” telah diperluas untuk menggambarkan suatu lembaran tipis fleksibel atau film, bertindak sebagai pemisah selektif antara dua fase karena bersifat semipermeabel (Safentry dan Habib, 2019). Membran merupakan salah satu teknologi alternatif yang sekarang marak digunakan untuk berbagai problem pemisahan. Proses pengolahan air bersih menggunakan teknologi membran merupakan alternatif pengganti pengolahan air secara konvensional yang sekarang sudah mulai jarang diaplikasikan, pengolahan air menggunakan teknologi membran ini juga memiliki keunggulan yaitu dapat menghasilkan kemurnian air cukup besar dan kemungkinan terjadi *fouling* (penumpukan solut pada permukaan membran) relatif kecil, dalam perancangannya tidak membutuhkan tempat yang luas (Yuliati, 2012). Menurut (Ariyanti dkk, 2020) pengertian membran merupakan lapisan semipermeabel yang berfungsi sebagai filtrasi partikel dengan ukuran molekuler (spesi) dalam suatu larutan. Dengan memiliki gaya dorong berupa tekanan, membran dapat dikategorikan sebagai mikro, ultra, dan nanofiltrasi. Sistem kerja membran yaitu padatan tersuspensi dan pelarut dengan berat molekul tinggi tertahan (*retentate*), sedangkan air dan pelarut dengan molekul rendah melewati membran (*permeate*).



Gambar 2.1 Proses pemisahan dengan membran

Sumber: Mulder (1996)

Berikut jenis-jenis membran berdasarkan tekanan yang telah digolongkan menurut (Agustina, 2006):

- Mikromembran (Mikrofiltrasi)
- Reverse Osmosis
- Ultramembran (Ultrafiltrasi)
- Nanomembran (Nanofiltrasi)

Tabel 2.1 Perbandingan proses membran berbasis gaya dorong tekanan Wenten (2014).

Parameter	RO	NF	UF	MF
Membran	Asimetris	Asimetris	Asimetris	Simetris Asimetris
Ketebalan	150 μm	150 μm	10 - 150 μm	150 μm
<i>Thin Film</i>	1 μm	1 μm	1 μm	
Ukuran Pori	< 0.002 μm	< 0.002 μm	0.2 – 0.02 μm	4 – 0.02 μm
Merejeksi	HMWC, LMWC, NaCl, Glukosa, Asam Amino	HMWC Mono-, di dan oligosaccharides, Ion negatif Polivalen	Makro molekul, Protein, Polisakarida, Vira	Partikel, Lempung, Bakteri
Material	CA Poliamida	Poliamida	Keramik, PSO,	Keramik,

Membran	lapis tipis		PVDF, CA	PP, PSO, PVDF
Modul Membran	Tubular, spiral wound, plate and frame	Tubular, spiral wound, plate and frame	Tubular, Hollow Fiber, spiral wound, plate and frame	Tubular, Hollow Fiber
Tekanan Operasi	15 – 150 bar	5 – 35 bar	1- 10 bar	< 2 bar

2.8 Membran Berdasarkan Morfologi

Membran berdasarkan morfologinya dapat digolongkan menjadi dua yaitu :

- a. Membran simetri, yaitu membran yang memiliki struktur pori homogen di seluruh bagian membran dan memiliki ukuran pori yang relatif sama pada kedua sisi membran. Ketebalan membran berkisar 10-200 μm .
- b. Membran asimetri, yaitu membran yang memiliki struktur pori yang lebih rapat pada permukaan membran dan pori yang lebih besar pada pendukungnya.

2.9 Membran Ultrafiltrasi

1. Polimer Membran PES (*polyethersulfone*)

Sehubungan dengan teknologi pengelolaan air dengan menggunakan membran, menurut Putra Hidayat dkk (2019) membran PES menjadi salah satu membran yang sangat baik untuk digunakan dalam pengolahan air limbah karena kinerjanya yang baik, kekuatan mekanik yang tinggi, dan stabilitas termal yang tinggi. Saat ini membran PES mengalami banyak perkembangan seperti digunakan untuk pemisahan gas, pemisahan minyak, pemurnian air limbah dan lain-lain (Rohmatullah, 2022). Menurut Mulyati dkk (2017) *Polyethersulfone* (PES) merupakan salah satu membran polimer yang paling banyak digunakan sebagai material untuk membran ultrafiltrasi. Membran PES dipilih karena toleransi terhadap pH yang luas, memiliki sifat mekanik dan ketahanan kimia yang baik, tahan terhadap temperatur tinggi serta mudah dalam pembuatan (Fathanah dkk., 2019).

2. Aditif TiO₂ (Titanium dioksida)

Menurut Putra Hidayat dkk (2019) membran PES memiliki permeabilitas yang buruk dan kecenderungan fouling yang tinggi karena sifat hidrofilik yang tidak memadai. Antifouling pada membran dapat ditingkatkan dengan menambahkan senyawa anorganik sebagai aditif seperti TiO₂ (Titanium dioksida). Terdapat beberapa penelitian secara khusus melakukan modifikasi terhadap membran PES dengan penambahan TiO₂ sebagai aditif untuk meningkatkan hidrofilisitasnya dan mengurangi kecenderungan pengotoran. TiO₂ merupakan senyawa yang sangat efektif untuk aplikasi pemanfaatan air dikarenakan sifatnya yang tahan terhadap suhu tinggi pada kisaran 500 – 1000°C, tidak beracun, murah, memiliki sumber yang melimpah dan memiliki ketahanan kimia terhadap media asam dan basa. Namun, penambahan TiO₂ yang terlalu banyak akan menyebabkan porositas permukaan membran yang besar dan menyebabkan penurunan kekuatan mekanik membran (Nasution dkk., 2022).

3. Pelarut DMF (*Dimethylformamide*)

Dalam pembuatan membran pelarut yang ditambahkan juga mempunyai peran aktif untuk karakteristik membran yang terbentuk, salah satu pelarut yang sering digunakan dalam pembuatan membran PES adalah DMF. Pelarut DMF digunakan dengan alasan mudah larut dengan air, tahan terhadap api, memiliki nilai volatilitas dan toksisitas tinggi dan dapat menambah nilai kekuatan membran. DMF memiliki ciri-ciri tidak berwarna, berbentuk cair sehingga dapat langsung ditambahkan sebagai pelarut ke dalam campuran polimer, dan pada proses pencetakan membran pelarut DMF akan hilang/terlarut dengan sendirinya (Ramadhanis, 2021).

2.10 Teknik Pembuatan Membran

Teknik-teknik yang digunakan pada proses pembuatan membran antara lain, *sintering*, *stretching*, *track-etching*, *template leaching*, dan inversi fasa. Teknik yang sering digunakan dalam proses pembuatan membran yang dibuat dalam skala laboratorium maupun industri adalah teknik inversi fasa (Mulder, 1996).

Metode inversi fasa ini merupakan suatu metode preparasi membran yang sering digunakan untuk menghasilkan membran asimetrik, dimana dalam metode ini polimer dari fase cair diubah menjadi padat. Metode inversi fasa ini banyak dipilih karena lebih mudah untuk dilakukan, disamping itu berbagai morfologi membran bisa didapatkan.

Inversi fasa adalah suatu proses perubahan bentuk polimer dari fasa cair menjadi padatan dengan kondisi terkendali. Proses pemadatan (solidifikasi) ini diawali dengan transisi dari fasa cair ke fasa dua cairan (*liquid-liquid demixing*). Selama proses *demixing*, salah satu fasa cair (fasa polimer konsentrasi tinggi) akan memadat sehingga akan terbentuk matriks padat. Pengendalian tahap awal transisi fasa akan menentukan morfologi membran yang dihasilkan.

Konsep inversi fasa mencakup berbagai macam teknik pengendapan antara lain pengendapan dengan penguapan pelarut, pengendapan fase uap, pengendapan dengan penguapan terkendali, pengendapan termal, dan pengendapan imersi.

a. Pengendapan dengan penguapan pelarut

Merupakan metode yang paling sederhana. Polimer dilarutkan pada pelarut tertentu kemudian dicetak, pelarut dibiarkan menguap pada suasana *inert* untuk mengeluarkan uap air, sehingga didapatkan membran homogen yang tebal.

b. Pengendapan fase uap

Teknik ini dibuat dengan cara meletakkan cetakan film yang terdiri dari polimer dan pelarut pada suasana uap dimana fase uap mengandung uap non-pelarut jenuh dan pelarut yang sama dengan cetakan film. Konsentrasi pelarut yang tinggi di fase uap akan mencegah penguapan pelarut dari cetakan film. Pembentukan membran terjadi karena difusi dari non-pelarut ke dalam cetakan film. Membran yang terbentuk adalah membran berpori tanpa lapisan atas.

c. Pengendapan dengan penguapan terkendali

Metode ini memanfaatkan perbedaan volatilitas antara pelarut dan non-pelarut. Selama pelarut lebih mudah menguap dari non-pelarut maka perubahan komposisi selama penguapan bergerak ke arah kandungan non-pelarut yang lebih tinggi dan konsentrasi polimer yang lebih tinggi.

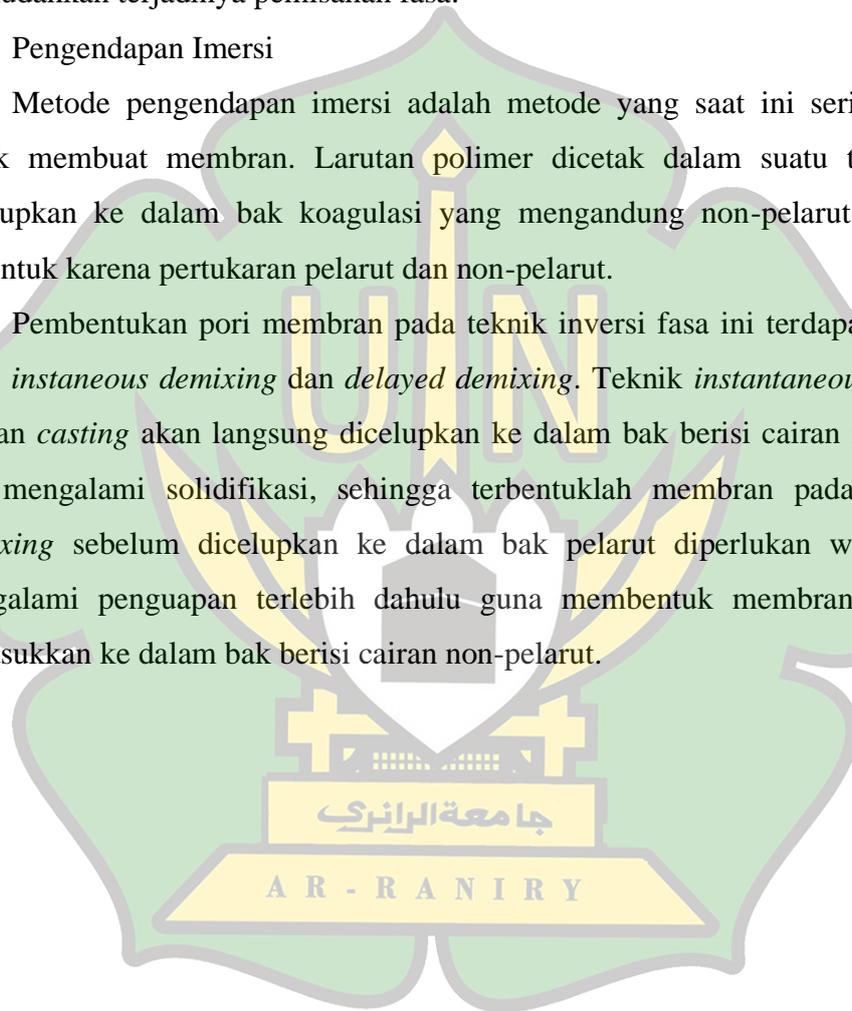
d. Pengendapan Termal

Metode ini membentuk membran dengan cara mendinginkan larutan polimer supaya terjadi pemisahan fase dan penguapan pelarut. Penguapan pelarut sering mengakibatkan terbentuknya membran berkulit untuk mikrofiltrasi. Larutan polimer dengan pelarut tunggal atau campuran lebih diharapkan untuk memudahkan terjadinya pemisahan fasa.

e. Pengendapan Imersi

Metode pengendapan imersi adalah metode yang saat ini sering dipakai untuk membuat membran. Larutan polimer dicetak dalam suatu tempat dan dicelupkan ke dalam bak koagulasi yang mengandung non-pelarut. Membran terbentuk karena pertukaran pelarut dan non-pelarut.

Pembentukan pori membran pada teknik inversi fasa ini terdapat dua jenis yaitu *instaneous demixing* dan *delayed demixing*. Teknik *instantaneous demixing* larutan *casting* akan langsung dicelupkan ke dalam bak berisi cairan non-pelarut dan mengalami solidifikasi, sehingga terbentuklah membran padat. *Delayed demixing* sebelum dicelupkan ke dalam bak pelarut diperlukan waktu untuk mengalami penguapan terlebih dahulu guna membentuk membran kemudian dimasukkan ke dalam bak berisi cairan non-pelarut.



BAB III

METODOLOGI PENELITIAN

3.1 Kerangka Penelitian

Metode yang digunakan dalam penelitian ini bersifat eksperimental, yang nantinya akan berhubungan dengan data-data atau parameter yang harus diuji dan diteliti dari sampel yang telah diambil.

Penelitian ini menggunakan dua unit filtrasi yaitu saringan bertingkat sebagai unit *pre-treatment* bertujuan untuk mengurangi beban filtrasi pada membran karena air limbah memiliki nilai parameter pencemar yang cukup tinggi, dengan adanya *pre-treatment* limbah sudah mengalami penurunan kadar parameter pencemar, memperlambat proses *fouling* sehingga umur membran lebih lama dan juga meningkatkan nilai fluks pada membran (Nandari dkk., 2018). Selanjutnya penggunaan unit reaktor ultrafiltrasi digunakan sebagai *secondary treatment* karena jenis membran yang digunakan dalam penelitian ini adalah jenis membran datar (*flat membrane*), sehingga beban yang dapat diterima tidak sesuai dengan beban yang terdapat pada air sampel dan ditakutkan akan terjadi *fouling* yang berlebih.

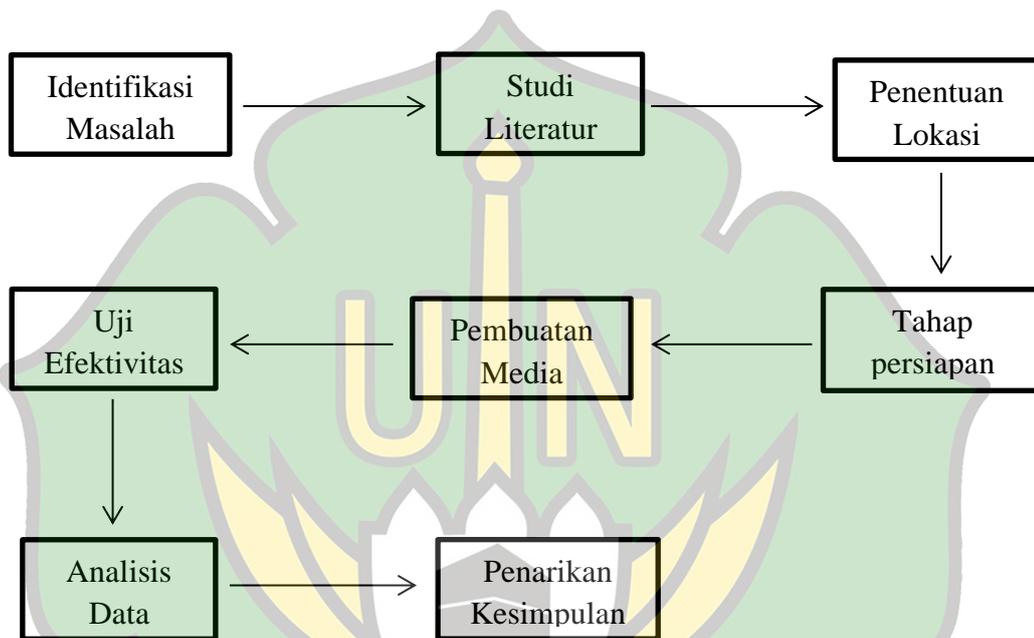
Secara garis besar tahapan penelitian disajikan dalam diagram alir dapat dilihat pada Gambar 3.1. Maka rencana penelitian yang akan dilakukan yaitu:

1. Tahapan identifikasi masalah, merupakan proses awal yang penting dalam melakukan sebuah penelitian yang bertujuan untuk menemukan masalah yang terjadi serta menentukan bagaimana masalah tersebut diukur sehingga kemudian menghadirkan suatu solusi yang tepat.
2. Tahapan studi literatur berkaitan dengan objek penelitian, diawali pencarian daftar-daftar pustaka yang berkaitan dengan penelitian yang akan dilaksanakan. Ini dapat berupa penelitian terdahulu yang telah dilakukan serta dasar teori yang dapat menunjang penelitian, bertujuan untuk mengetahui segala informasi yang diperlukan nantinya dalam jalannya penelitian.
3. Tahap observasi awal, merupakan tahap penentuan tempat pengambilan

sampel penelitian bertujuan untuk mendapatkan sampel limbah cair rumah makan yang sesuai kualifikasi dan dapat mewakili populasi dari sampel yang menjadi masalah dalam penelitian.

4. Tahap persiapan meliputi persiapan alat dan bahan yang akan digunakan dalam proses jalannya penelitian agar penelitian yang akan dilakukan dapat berjalan secara efektif.
5. Tahap pembuatan unit filtrasi dan media yaitu berupa saringan pasir bertingkat, reaktor ultrafiltrasi dan membran PES menggunakan teknik inversi fasa yang akan digunakan untuk menurunkan parameter pH, TSS, COD, dan kekeruhan dalam limbah cair rumah makan.
6. Tahapan uji efektivitas, yaitu tahap untuk mengetahui pengaruh penggabungan filtrasi saringan pasir bertingkat dan ultrafiltrasi membran PES terhadap proses penurunan kadar parameter pH, TSS, COD, dan kekeruhan pada limbah rumah makan.
7. Tahap analisis hasil penelitian yang dilakukan setelah penelitian terlaksana secara keseluruhan dan data-data dalam jalannya penelitian terkumpulkan secara keseluruhan sehingga mudah dalam menarik kesimpulan.
8. Tahap penarikan kesimpulan yang memuat semua jawaban dari permasalahan yang telah dirumuskan di awal penelitian, yaitu seberapa efektifnya penggunaan membran PES menggunakan teknik inversi fasa dalam pengolahan limbah rumah makan dalam penurunan kadar pH, TSS, COD, dan kekeruhan serta karakteristik yang dihasilkan dalam pembuatan membran PES untuk pengolahan air bersih yang maksimal.
9. Tahapan uji efektivitas, yaitu tahap untuk mengetahui pengaruh penggabungan filtrasi saringan pasir bertingkat dan ultrafiltrasi membran PES terhadap proses penurunan kadar parameter pH, TSS, COD, dan kekeruhan pada limbah rumah makan
10. Tahap analisis hasil penelitian yang dilakukan setelah penelitian terlaksana secara keseluruhan dan data-data dalam jalannya penelitian terkumpulkan secara keseluruhan sehingga mudah dalam menarik kesimpulan.
11. Tahap penarikan kesimpulan yang memuat semua jawaban dari permasalahan

yang telah dirumuskan di awal penelitian, yaitu seberapa efektifnya penggunaan membran PES menggunakan teknik inversi fasa dalam pengolahan limbah rumah makan dalam penurunan kadar pH, TSS, COD, dan kekeruhan serta karakteristik yang dihasilkan dalam pembuatan membran PES untuk pengolahan air bersih yang maksimal.



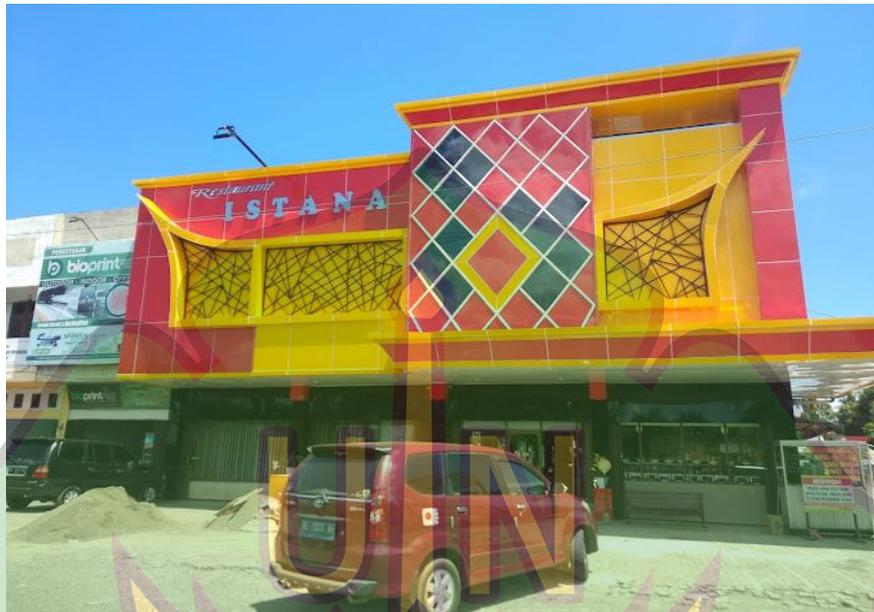
Gambar 3.1 Diagram alir tahapan penelitian

3.2 Pengambilan Sampel

1. Lokasi Pengambilan Sampel

Lokasi pengambilan sampel air limbah dari Rumah Makan dilakukan di Restaurant Istana yang terletak di Jl. Teuku Iskandar No.64A, Lambhuk, Kecamatan Ulee Kareng, Kota Banda Aceh dengan titik koordinat 5.5536295.95.3369267, pada tanggal 8 November 2022. Rumah Makan Istana dijadikan sebagai lokasi sampling karena rumah makan ini merupakan salah satu dari banyak rumah makan yang ada di Kota Banda Aceh yang cukup terkenal, selain itu alasan lain peneliti mengambil Rumah Makan Istana sebagai tempat pengambilan sampel karena rumah makan tersebut memiliki bak penampung

limbah cair tersendiri sehingga dapat mudah dalam mengambil sampel dan dapat menjamin keakuratan hasil uji parameter terhadap sampel tersebut.



Gambar 3.2 Lokasi pengambilan sampel



Gambar 3.3 Bak tempat penampungan limbah rumah makan

2. Metode Pengambilan Sampel

Sistem pengambilan sampel memiliki peranan yang sangat penting dalam pemantauan kualitas air. Ketelitian dalam analisis dan ketepatan sistem

pengambilan sampel akan mempengaruhi data dari hasil analisis. Karena jika dalam pengambilan sampel terjadi kesalahan akan dikhawatirkan bisa jadi saat pengambilan kesimpulan penelitian akan terjadi kesalahan. Maka dari itu untuk mendapatkan sampel yang baik dan relevan demi mendukung hasil penelitian baiknya metode pengambilan sampel dilakukan berdasarkan dengan (Badan Standardisasi Nasional, 2008) SNI 6989.59:2008. Pengambilan sampel dilakukan dengan ketentuan sebagai berikut :

- a. Sampel akan diambil secara manual, karena mudah diatur waktu, tempatnya, biaya yang rendah, dan juga dapat menggunakan peralatan yang diinginkan.
- b. Wadah contoh yang digunakan harus memenuhi syarat SNI yang berlaku.
- c. Volume contoh yang diambil untuk keperluan pengujian di lapangan dan laboratorium bergantung dari jenis pengujian yang diperlukan.
- d. Sampel limbah cair rumah makan ini juga bersifat contoh sesaat (*grab sample*).
- e. Pengambilan contoh pada outlet dilakukan pada lokasi setelah IPAL atau titik dimana air limbah yang mengalir sebelum memasuki badan air penerima (sungai).



Gambar 3.4 Proses pengambilan sampel

3. Hasil Uji Pendahuluan

Dari uji pendahuluan didapatkan hasil kuantitas parameter tercemar yang terdapat dalam limbah rumah makan istana Lambhuk Kota Banda Aceh,

kemudian dibandingkan dengan baku mutu yang diperbolehkan. Hasil uji pendahuluan ditunjukkan pada Tabel 3.1 berikut.

Tabel 3.1 Hasil uji pendahuluan limbah cair rumah makan

No.	Parameter	Baku Mutu	Hasil Uji	Satuan
1.	pH	6-9	5,5	-
2.	TSS	30	1,044	mg/L
3.	COD	100	590	mg/L
4.	Kekeruhan	25	495	NTU

Berdasarkan hasil uji yang telah dilakukan diperoleh nilai parameter pencemar yang terdapat dalam limbah cair rumah makan tidak sesuai dengan kadar maksimum yang telah ditetapkan dalam Peraturan Menteri Lingkungan Hidup dan Kehutanan Republik Indonesia No. 68 Tahun 2016 Tentang Baku Mutu Air Limbah Domestik. Dengan demikian peneliti menganggap bahwa limbah cair rumah makan istana Lambhuk, Kecamatan Ulee Kareng, Kota Banda Aceh perlu dilakukan pengolahan untuk menurunkan parameter tercemar tersebut, dan dijadikan air bersih sesuai baku mutu yang ditetapkan pada Peraturan Menteri Kesehatan Republik Indonesia Nomor 32 Tahun 2017 Tentang Standar Baku Mutu Kesehatan Lingkungan dan Persyaratan Kesehatan Lingkungan dan Persyaratan Kesehatan Air untuk Keperluan Higiene Sanitasi, Kolam Renang, Solus Per Aqua dan Pemandian Umum.

3.3 Pembuatan Saringan Bertingkat

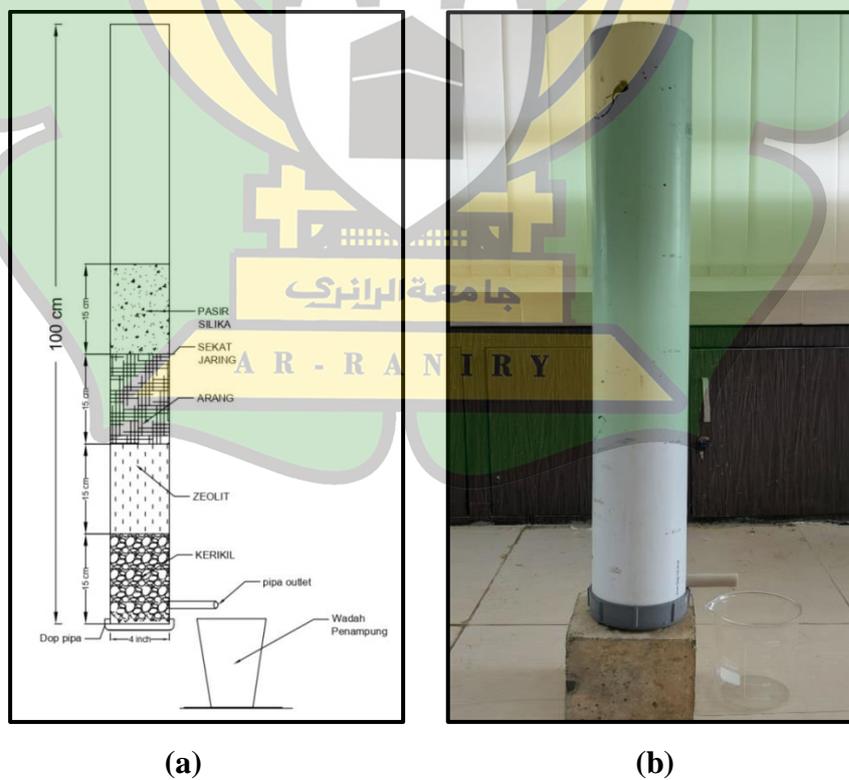
Alat dan bahan yang digunakan pada pembuatan unit saringan bertingkat disajikan pada Tabel 3.2.

Tabel 3.2 Alat dan bahan pembuatan unit saringan bertingkat

No.	Nama Alat dan Bahan	Spesifikasi	Fungsi
1.	Pasir Silika	2,010 kg	Media filtrasi untuk menyerap kontaminan

2.	Karbon Aktif	0,990 kg	Media filtrasi untuk menyerap kontaminan
3.	Zeolit	1,125 kg	Media filtrasi untuk menyerap kontaminan
4.	Batu Kerikil	2,065 kg	Media filtrasi untuk menyerap kontaminan
5.	Pipa PVC	4 inci	Untuk wadah media filter dan mengalirkan air
6.	Pipa PVC	$\frac{3}{4}$ inci	Untuk pipa output
7.	Dope	4 inci	Untuk penutup pipa bagian bawah
8.	Gelas Kimia	1 Liter	Untuk menampung sampel hasil filtrasi

Berikut tampilan desain unit saringan bertingkat :



Gambar 3.5 Unit saringan bertingkat (a) dalam bentuk desain; (b) saringan bertingkat dalam bentuk asli.

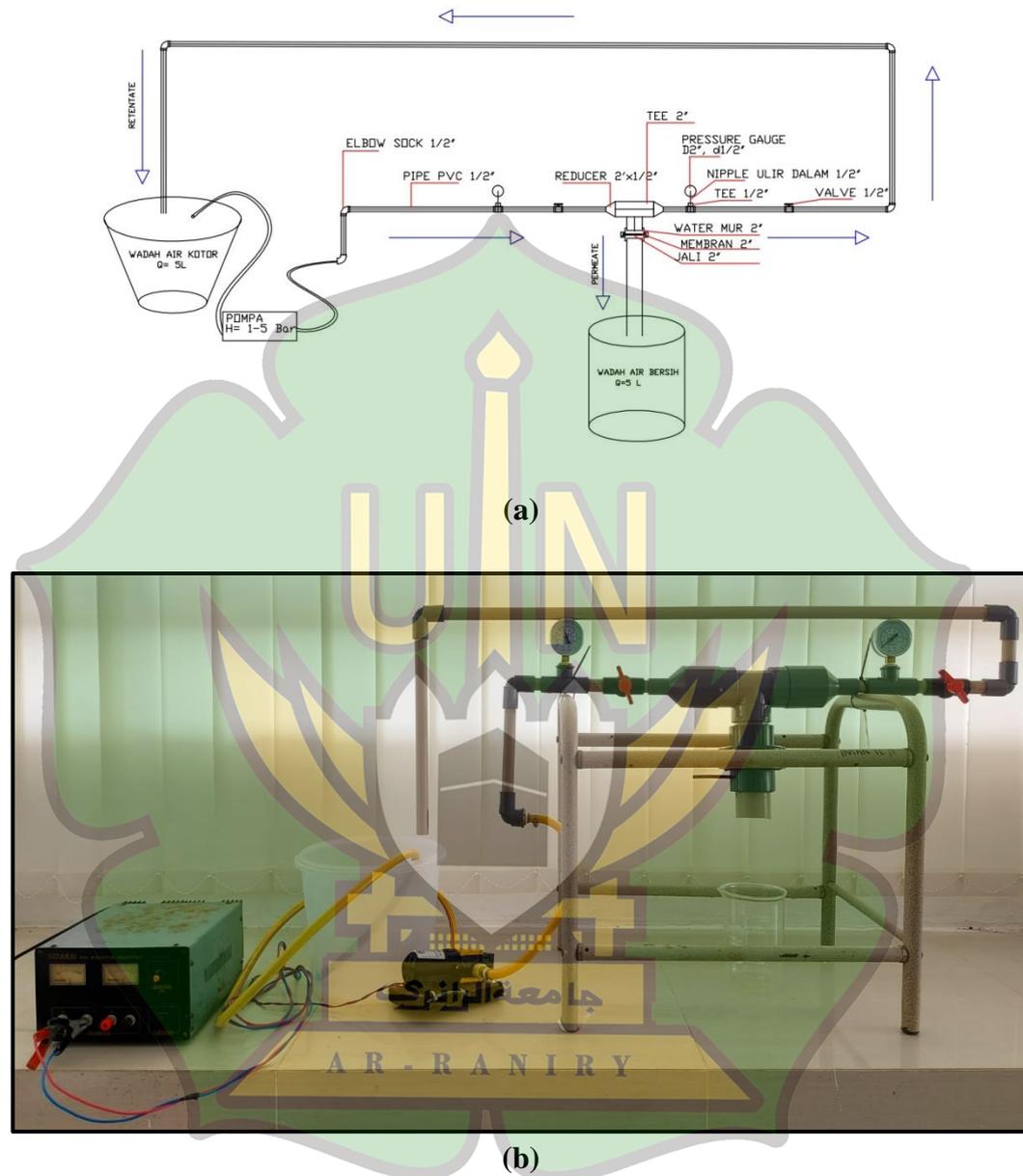
3.4 Pembuatan Unit Ultrafiltrasi

Alat dan bahan yang digunakan pada pembuatan unit ultrafiltrasi membran disajikan pada Tabel 3.3.

Tabel 3.3 Alat dan bahan pembuatan unit ultrafiltrasi

No.	Nama Alat dan Bahan	Spesifikasi	Fungsi
1.	Wadah Air	5 Liter	Untuk menampung sampel
2.	Pompa	2-3 bar	Untuk memberikan tekanan pada reaktor
3.	Pipa PVC	½ inci	Untuk mengalirkan sampel
4.	Elbow sock	½ inci	Untuk penyambung setiap pipa
5.	Pressure gauge	d1/2 inci	Untuk mengukur tekanan
6.	Valve	½ inci	Untuk mengontrol tekanan
7.	Reducer	2'x1/2 inci	Untuk menyambungkan pipa ke Tee
8.	Tee	2 inci	Untuk menyambungkan pipa kecil dengan water mur
9.	Water mur	2 inci	Untuk tempat peletakan membran
10.	Jali	2 inci	Untuk menahan membran

Berikut tampilan desain unit ultrafiltrasi membran :



Gambar 3.6 Unit ultrafiltrasi membran (a) unit ultrafiltrasi dalam bentuk desain; (b) tampak asli unit ultrafiltrasi.

3.5 Pembuatan Membran PES

1. Alat dan Bahan

Adapun alat yang digunakan dalam pembuatan membran PES (*Polyethersulfone*) disajikan dalam Tabel 3.4 dan bahan yang digunakan disajikan dalam Tabel 3.5 berikut.

Tabel 3.4 Alat pembuatan membran PES

Nama Alat	Jumlah	Kegunaan
Botol kaca tertutup	2	Wadah pengadukan larutan
<i>Hot plate Magnetic stirrer</i>	1	Mengaduk dan memanaskan larutan
Pipet tetes	1	Mengambil dan mengukur pelarut
Spatula	1	Mengambil bahan polimer dan adiktif
Timbangan analitik	1	Menimbang bahan membran
Stopwatch	1	Menghitung waktu dalam pembuatan membran
Pelat kaca	2	Media cetak membran
Batang kaca	1	Meratakan larutan casting di atas pelat kaca
Plakban (sealtape)	1	Patokan ketebalan larutan casting

Tabel 3.5 Bahan pembuatan membran PES

Nama Bahan	Jumlah		Kegunaan
	PES 15%	PES 20%	
PES (<i>Polyethersulfone</i>)	4,5 gr	6 gr	Polimer atau bahan utama pembuatan membran
TiO ₂	0,45 gr	0,45 gr	Zat aditif peningkat karakteristik dan kinerja membran
DMF (<i>Dimethylformamide</i>)	23,55 mL	25,05 mL	Pelarut pembentuk larutan yang homogen (<i>dope</i>)

2. Langkah Pembuatan

Pembuatan Membran *Polyethersulfone* (PES) bertempat di Laboratorium Teknik Lingkungan, Universitas Islam Negeri Ar-Raniry. Pembuatan membran dilakukan dengan menggunakan teknik inversi fasa secara presipitasi immerge yaitu , dengan non pelarut aquades (Fadli dkk., 2021). Dalam proses pembuatan membran *Polyethersulfone* (PES) akan melalui beberapa tahapan, yaitu sebagai berikut (Putra Hidayat dkk., 2019) :

- a. Pertama disiapkan 2 botol kaca tertutup yang berbeda, untuk membedakan diberi label PES 15% dan PES 20%.
- b. Kemudian dimasukkan pelarut DMF ke dalam 2 botol yang berbeda, masing sebanyak 23.05 mL untuk PES 15% dan 23.55 mL untuk PES 20%.
- c. Dimasukkan TiO₂ sebanyak 0.45 gram ke dalam dua botol kaca dengan takaran yang sama.
- d. Kemudian diaduk menggunakan magnetic *stirrer* pada suhu 60°C selama 30 menit.
- e. Selanjutnya ditambahkan polimer PES 4.5 gram untuk PES 15% dan 6.0 gram untuk PES 20%, dan dilakukan pengadukan kembali selama 24 jam.
- f. Kemudian setelah memperoleh larutan *casting* yang homogen maka pengadukan dihentikan, dan larutan *casting* didiamkan selama 2-3 jam untuk menghilangkan gelembung-gelembung udara.
- g. Larutan *casting* dituang untuk dicetak menggunakan lempengan kaca yang telah diberikan plakban dengan ketebalan di pinggirnya dan diratakan menggunakan batang pengaduk.
- h. Disediakan bak koagulasi yang berisi air aquades sebanyak 2 liter untuk merendam lempengan kaca, dan ditunggu hingga lapisan film (membran) terlepas dari lempengan kaca tersebut.
- i. Membran disimpan di dalam wadah berisi aquades, yang bertujuan untuk menghilangkan sisa pelarut yang tidak bereaksi pada saat pembentukan membran PES dengan berdifusi ke dalam aquades.

3.6 Tahapan Pengujian Karakteristik Membran

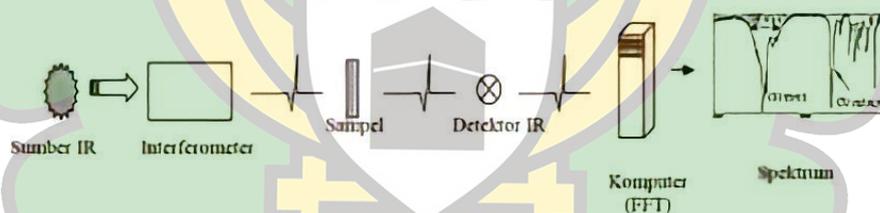
1. Analisis Morfologi Membran

Morfologi atau statistika pori dapat dianalisis menggunakan peralatan SEM (*Scanning Electron Microscope*). Morfologi yang diamati dengan alat SEM dilakukan pada permukaan atas dan penampang melintang membran untuk mengetahui pori membran yang terbentuk. Hasil analisa dengan SEM ini berupa foto polaroid serta memiliki kemampuan untuk memfoto dengan perbesaran ukuran dari 35x hingga 10000x, namun terhadap sampel membran PES 15% dan 20% dilakukan SEM pada permukaan dengan pembesaran 10.000 kali, sedangkan penampang melintang dilakukan SEM dengan pembesaran yang berbeda yaitu pembesaran 2000 kali pada membran 15% dan pembesaran 1,500 kali pada membran 20%. Biasanya sampel yang difoto memiliki ukuran luas permukaan yang kecil yaitu 5 mm x 5 mm dan sampel dalam kondisi kering (Fadli dkk., 2021). Pengujian SEM dilakukan dengan membran dicelupkan dalam larutan nitrogen cair supaya membran mudah dipatahkan kemudian ditempelkan pada wadah cuplikan (*brass disk*) dengan bantuan selotip. Cuplikan membran ini dilapisi dengan emas dalam keadaan vakum. Setelah itu permukaan membran dapat diamati melalui electron microscopy dan diambil fotonya (Aprilia dan Amin, 2011). SEM merupakan sebuah tipe mikroskop elektron yang menggambarkan permukaan sampel melalui proses scan dengan menggunakan pancaran energi yang tinggi dari elektron dalam suatu pola scan faster (Mutia, 2016). Namun pengujian tidak dilakukan sendiri tetapi sampel dikirim ke Laboratorium Pusat Survei Geologi Bandung. Kemudian hasil SEM dianalisis kembali menggunakan *software* ImageJ guna untuk mengetahui data ukuran pori dan distribusi ukuran pori yang terbentuk pada permukaan dan penampang melintang membran yang terbentuk dengan dengan acuan skala μm pada foto polaroid hasil SEM.

2. Analisis Komposisi Membran

Uji menggunakan instrumen FTIR (*Fourier transform infrared spectroscopy*) PerkinElmer Spectrum two, direkam dengan gelombang 1 cm^{-1} dan rentang bilangan gelombang dari 400 hingga 1400 cm^{-1} , diperlukan untuk

menganalisis gugus fungsi pada membran. Uji FTIR dilakukan untuk menunjukkan bagaimana serapan gugus fungsi polimer pada sampel berdasarkan pada grafik yang ditampilkan pada layar komputer (Fadli dkk., 2021). Tentukan karakteristik puncak dalam spektrum IR. Semua spektrum inframerah mengandung banyak puncak. Selanjutnya melihat data daerah gugus fungsi yang diperlukan untuk membaca spektrum. Prinsip kerja FTIR yaitu interaksi antara energi dan materi. *Infrared* yang melewati celah ke sampel, dimana celah tersebut berfungsi mengontrol jumlah energi yang disampaikan kepada sampel. Kemudian beberapa *Infrared* diserap oleh sampel dan yang lainnya ditransmisikan melalui permukaan sampel sehingga sinar *Infrared* lolos ke detektor dan sinyal yang terukur kemudian dikirim ke komputer dan direkam dalam bentuk grafik (Sari dan Fajri, 2018), secara umum disajikan pada Gambar 3.7. Pengujian sampel dilakukan di Laboratorium Multifungsi, Universitas Islam Negeri Ar-raniry Banda Aceh.



Gambar 3.7 Prinsip kerja FTIR
Sumber: Aprianto, 2018

Cara menggunakan FTIR dijelaskan sebagai berikut :

- a) Menyalakan alat
 - (i) Tekan tombol ON untuk menyalakan alat FTIR
 - (ii) Klik bagian software FTIR yang tampil pada komputer
 - (iii) Pilih bagian kiri opsi “Measure” kemudian pilih “Measurement” lalu “initialize”. Tunggu sampai muncul tiga simbol status berwarna hijau pada bagian kanan layar.
 - (iv) Setelah semua langkah telah diikuti, alat FTIR siap untuk digunakan dalam analisa

b) Mengukur Sampel

1. Pasangkan holder ke dalam tempat berbentuk lubang bulat pada bagian tengah alat FTIR
2. Pilih salah satu opsi untuk menyimpan data pada elektronik komputer
3. Masukkan file ke dalam folder yang sudah diberi nama. Hasilnya akan tersimpan secara otomatis
4. Klik measure untuk mengukur background, maka akan keluar hasil dari spektrum BKG yang berasal dari udara bebas dan gas CO₂. Lakukan proses ini sebagai 45 kali pengulangan
5. Kemudian masukkan sampel lalu pasang pada holder
6. Klik measure kemudian pilih sampel. Lakukan sebanyak 45 kali pengukuran
7. Klik kanan. klik Object Properties. Lalu isi kolom description untuk memberikan keterangan pada alat spektrum
8. Masukkan angka panjang gelombang yang diinginkan lalu klik peak
9. Simpan file atau data menjadi gambar dalam format pdf.
3. Menentukan Fluks Membran

Setelah reaktor ultrafiltrasi dirangkai sesuai dengan konsep penelitian, selanjutnya dilakukan pengujian membran yang telah dibuat terhadap sampel limbah cair rumah makan yang sebelumnya telah dilakukan filtrasi menggunakan saringan bertingkat. Membran yang telah dibentuk diletakkan pada dasar alat kemudian sampel dimasukkan ke dalam tabung umpan sebanyak ± 2 Liter dan diberi tekanan menggunakan pompa sebesar 3 bar sehingga air sampel akan mengalir melewati membran yang disebut *permeate*. *Permeate* yang keluar tersebut ditampung dalam gelas ukur selama 1 jam kemudian dihitung volumenya untuk menentukan fluks membran (permeabilitas membran). Mengulangi langkah yang sama pada variasi komposisi pembuat membran lainnya, dengan menggunakan persamaan :

$$J = \frac{V}{A \cdot t} \quad (3.1)$$

Dengan :

- J = fluks ($L/m^2 \cdot \text{jam}$)
 A = luas permukaan membran (m^2)
 V = volume permeat (L)
 t = waktu (jam)

3.7 Prosedur Eksperimen

Proses eksperimen terhadap saringan bertingkat dan membran PES untuk proses pengolahan limbah cair dari Rumah Makan Istana menjadi air bersih dilakukan di Laboratorium Hidrolika, Universitas Islam Negeri Ar-Raniry.

1. Eksperimen Saringan Bertingkat
 - a. Unit saringan bertingkat dengan menggunakan sistem *downflow* dirancang menggunakan pipa PVC berukuran 4 inci dengan tinggi 100 cm.
 - b. Media filter yang telah disediakan dimasukkan secara vertikal ke dalam pipa dengan urutan batu kerikil, zeolit, arang dan pasir silika (Sulianto dkk., 2020). Jenis media filter dan ketebalan dapat dilihat pada Tabel 3.6.
 - c. Sampel limbah cair rumah makan yang telah disediakan dimasukkan ke dalam unit saringan bertingkat untuk dialirkan melewati media filter.
 - d. Hasil sampel limbah cair rumah makan yang telah terfiltrasi ditampung dalam wadah gelas kimia ukuran 1 liter secara bertahap.
 - e. Sampel hasil filtrasi yang telah ditampung kemudian dicek parameter pH, TSS, COD, dan kekeruhan.

Tabel 3.6 Jenis dan ketebalan media filter

Sampel	Media Filter			
Limbah cair	Kerikil	Zeolit	Karbon Aktif	Pasir Silika
rumah makan	15 cm	15 cm	15 cm	15 cm

2. Eksperimen Unit Ultrafiltrasi Membran
 - a. Unit ultrafiltrasi membran dirancang dengan material berbahan pipa PVC seperti yang terlihat pada Gambar 3.5 (b).

- b. Kemudian membran PES 15% yang telah dibuat sebelumnya dipotong menggunakan gunting dengan ukuran 5 diameter dan diletakkan di atas jali pada *water mur* yang terdapat di reaktor.
- c. Sampel limbah cair rumah makan hasil filtrasi sebelumnya pada unit saringan bertingkat dituangkan dalam wadah sampel awal pada unit ultrafiltrasi sebanyak 5 liter.
- d. Pompa dihidupkan dan diatur tekanan masuk dengan cara valve diputar sehingga jarum pada pressure gauge menunjukkan angka 3 bar.
- e. Sampel dialirkan melalui pipa dan melewati membran dengan aliran *cross flow* seperti yang terlihat pada Gambar 3.6 (a).
- f. Ultrafiltrasi menggunakan membran dilakukan selama 1 jam dan ditampung hasil sampel untuk dihitung fluks dan pengukuran parameter pH, TSS, COD, kekeruhan.
- g. Dilakukan pengulangan prosedur a sampai f menggunakan membran PES 20%.

3.8 Tahapan Pengujian Kinerja Metode Kombinasi Saringan Bertingkat-Ultrafiltrasi Membran PES

1. Uji Efektivitas

Tahap analisis data yang dilakukan pada penelitian ini untuk mengetahui persentase sebelum dan sesudah penyisihan parameter pencemar seperti pH, TSS, COD dan kekeruhan menggunakan metode kombinasi saringan bertingkat-ultrafiltrasi membran PES. Untuk mencari efektivitas digunakan rumus sebagai berikut:

$$\% \text{ Efektivitas} = \frac{(\text{kadar awal} - \text{kadar akhir})}{(\text{kadar awal})} \times 100 \quad (3.2)$$

2. Pengukuran Parameter pH

Menurut (SNI 06-6989.11-2004) pengukuran pH dilakukan menggunakan alat pengukur pH meter. Tahapan pengujiannya adalah sebagai berikut :

- a. Elektroda dikeringkan menggunakan kertas tisu, kemudian dibersihkan menggunakan air suling.
- b. Elektroda dibilas dengan sampel limbah.
- c. pH meter dimasukkan ke dalam elektroda sampai menunjukkan pembacaan yang akurat.
- d. Hasil pembacaan skala/angka dicatat pada tampilan pH meter.

3. Pengukuran Parameter TSS (*Total Suspended Solid*)

Menurut SNI 06-6989.3-2004 pengukuran TSS dilakukan secara gravimetri.

Tahapan pengujiannya adalah sebagai berikut :

- a. Penyaringan dilakukan dengan alat vakum. Saringan dibasahi sedikit dengan air suling.
- b. Contoh uji diaduk menggunakan pengaduk magnetik untuk contoh uji yang lebih homogen.
- c. Contoh uji diambil dengan pipet tetes dengan volume tertentu pada saat contoh uji dilakukan pengadukan.
- d. Kertas saring atau saringan dicuci menggunakan 3 x 10 mL air suling, lalu dibiarkan sampai kering sempurna, dan dilanjutkan penyaringan dengan menggunakan vakum selama 3 menit agar memperoleh penyaringan sempurna. Untuk contoh uji dengan padatan terlarut yang cukup tinggi diperlukan pencucian tambahan.
- e. Kertas saring dipindahkan secara perlahan dari alat penyaring dan diletakkan ke wadah timbang aluminium sebagai penyangga. Jika yang digunakan cawan Gooch pindahkan cawan dari rangkaian alatnya.
- f. Dikeringkan dalam oven setidaknya selama 1 jam pada suhu 103°C sampai dengan 105°C, dengan dan didinginkan dalam desikator untuk menyeimbangkan suhu dan timbangan.
- g. Tahapan pengeringan diulangi, pendinginan dalam desikator, dan lakukan penimbangan sampai diperoleh berat yang konstan atau sampai perubahan

berat lebih kecil dari 4% terhadap penimbangan sebelumnya atau lebih kecil dari 0,5 mg.

Dengan persamaan :

$$\text{mg TSS per liter} = \frac{(A-B) \times 1000}{\text{Volume contoh uji, mL}} \quad (3.3)$$

Dengan :

A = berat kertas saring + residu kering, mg

B = berat kertas saring, mg.

3. Pengukuran Parameter COD (*Chemical Oxygen Demand*)

Menurut SNI 6989.2:2019 pengukuran COD dilakukan dengan refluks tertutup secara spektrofotometri. Tahapan pengujiannya adalah sebagai berikut :

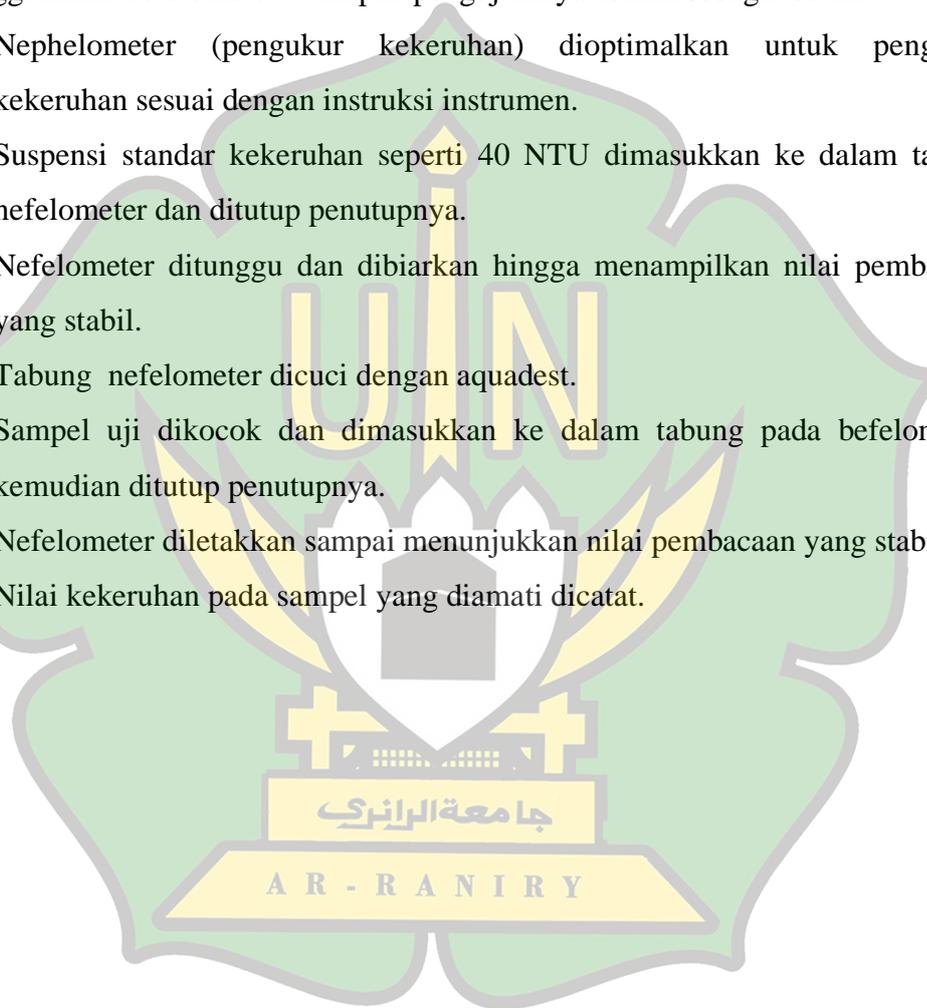
- a. Sampel uji diambil menggunakan pipet tetes 2,5 mL, ditambahkan 1,5 mL larutan baku $K_2Cr_2O_7$ dan ditambahkan 3,5 mL larutan pereaksi asam sulfat (Hg_2SO_4 dan Ag_2SO_4) ke dalam tabung atau ampul.
- b. Tabung ditutup dan dikocok secara perlahan sampai homogen.
- c. Tabung diletakkan pada pemanas yang telah dipanaskan pada suhu $150^\circ C$, dan dilakukan refluks selama 2 jam.
- d. Sampel uji yang telah direfluks didinginkan secara perlahan-lahan sampai suhu ruang, ini bertujuan untuk mencegah terbentuknya endapan.
- e. Sampel uji dipindahkan secara kuantitatif ke dalam erlenmeyer untuk kemudian dititrasikan.
- f. Ditambahkan indikator ferroin ke dalam erlenmeyer 1-2 tetes dan dititrasikan menggunakan larutan baku FAS sampai terjadi perubahan warna yang jelas dari hijau-biru menjadi warna coklat-kemerahan, dicatat volume larutan baku FAS yang digunakan sebagai A.
- g. Langkah 1 sampai 6 diulang terhadap aquades sebagai blanko, volume FAS yang

digunakan dicatat sebagai B. Dan kemudian dilakukan tahap perhitungan sampai hasil uji sampel ditentukan.

4. Pengukuran Parameter Kekerusuhan

Menurut (SNI 06-6989.25-2005) cara menguji parameter kekeruhan adalah menggunakan nefelometer. Tahapan pengujiannya adalah sebagai berikut :

- a. Nephelometer (pengukur kekeruhan) dioptimalkan untuk pengujian kekeruhan sesuai dengan instruksi instrumen.
- b. Suspensi standar kekeruhan seperti 40 NTU dimasukkan ke dalam tabung nefelometer dan ditutup penutupnya.
- c. Nefelometer ditunggu dan dibiarkan hingga menampilkan nilai pembacaan yang stabil.
- d. Tabung nefelometer dicuci dengan aquadest.
- e. Sampel uji dikocok dan dimasukkan ke dalam tabung pada nefelometer, kemudian ditutup penutupnya.
- f. Nefelometer diletakkan sampai menunjukkan nilai pembacaan yang stabil.
- g. Nilai kekeruhan pada sampel yang diamati dicatat.



BAB IV

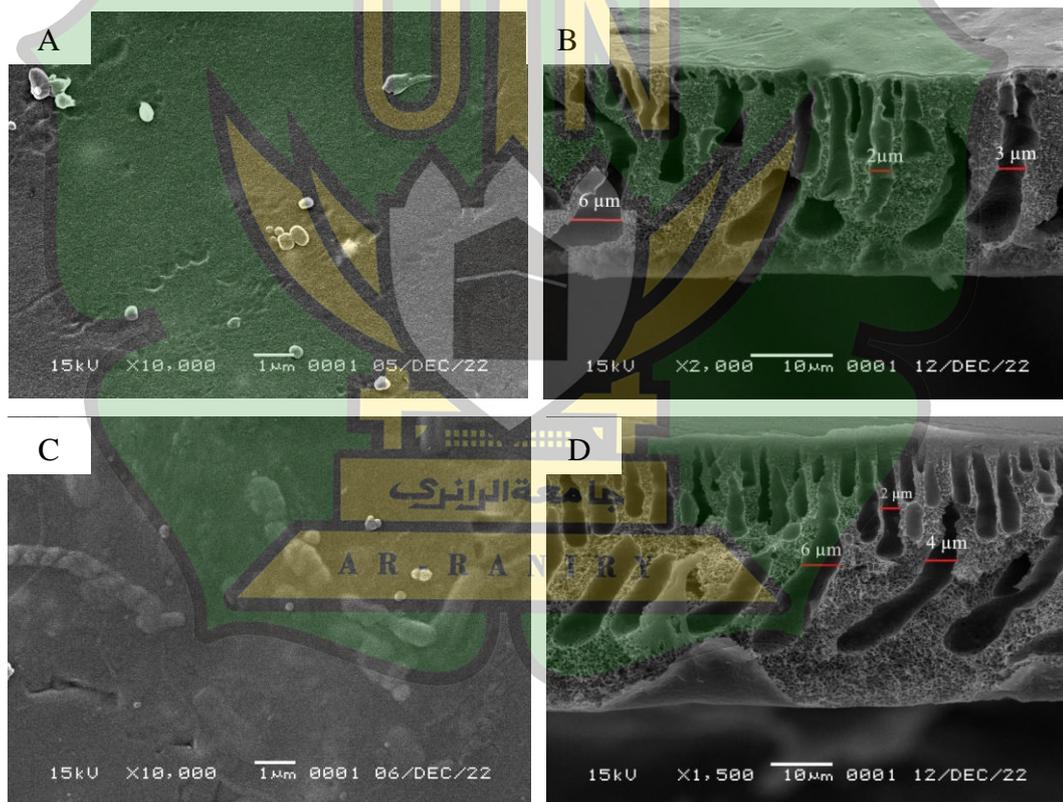
HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Hasil Ekperimen

4.1.1 Karakteristik Membran

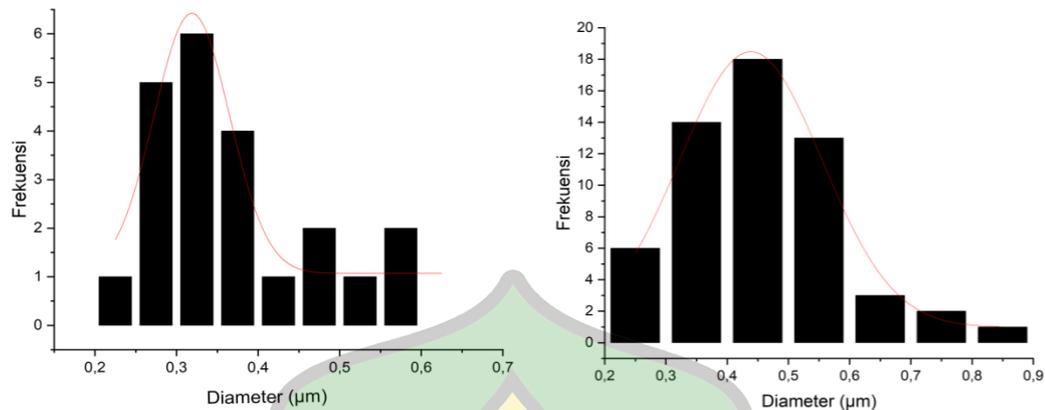
1. Analisis Morfologi

Struktur morfologi membran PES ditunjukkan pada Gambar 4.1 A dan B merupakan foto hasil SEM dari permukaan membran PES 15% dan membran PES 20% pada magnifikasi 10.000 kali, kemudian pada gambar C dan D merupakan foto hasil SEM penampang melintang membran PES 15% dengan magnifikasi 2.000 kali dan membran PES 20% dengan magnifikasi 1.500 kali.



Gambar 4.1 SEM permukaan dan penampang melintang membran flat PES (a-b) membran PES 15%, (c-d) membran PES 20%

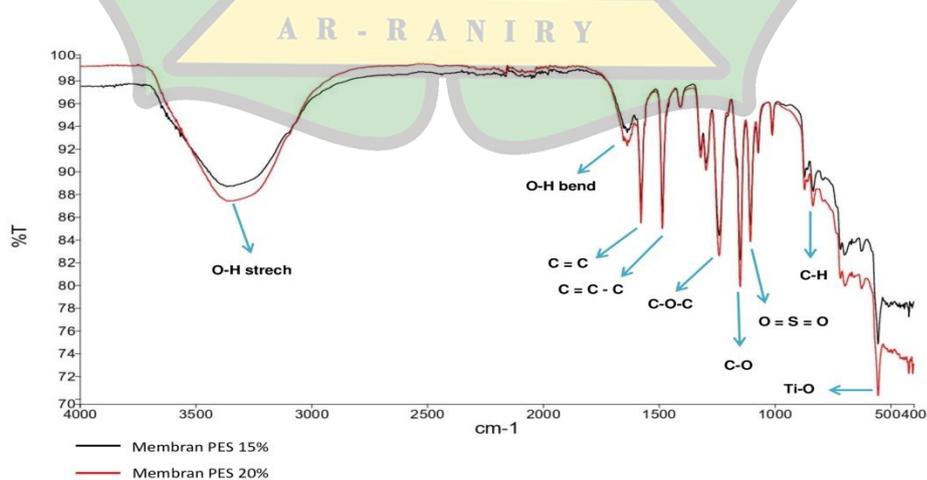
Kemudian dilakukan pengukuran distribusi ukuran pori yang terbentuk pada membran PES 15% dan 20%, disajikan pada Gambar 4.2 berikut.



Gambar 4.2 Distribusi ukuran pori yang terbentuk (a) pada membran PES 15%, dan (b) pada membran PES 20%

2. Analisis Komposisi

Dari hasil FTIR membran PES berdasarkan Gambar 4.3 dapat dilihat daerah serapan yang terjadi pada bilangan gelombang 3368 cm^{-1} yang menunjukkan gugus fungsi O-H stretching dan O-H bending pada bilangan gelombang 1638 cm^{-1} , ikatan C=C asimetrik pada bilangan gelombang 1577 cm^{-1} , ikatan C=C-C pada bilangan gelombang 1485 cm^{-1} , ikatan C-O-C pada bilangan gelombang 1240 cm^{-1} , ikatan C-O stretching pada bilangan gelombang 1149 cm^{-1} , gugus sulfon O=S=O pada panjang gelombang 1149 dan 1105 cm^{-1} , C-H aromatik pada bilangan gelombang 834 cm^{-1} , pada 553 cm^{-1} mengindikasikan keberadaan ikatan vibrasi Ti-O yang merupakan khas milik TiO_2 .



Gambar 4.3 FTIR membran PES 15% dan membran PES 20%

3. Analisis Perhitungan Nilai Fluks

Fluks ialah jumlah volume permeat yang melewati satu satuan permukaan luas membran dengan waktu tertentu dengan adanya gaya dorong, dalam hal ini berupa tekanan. Fluks merupakan karakterisasi penting bagi membran yang akan diaplikasikan di industri. Permeat yang diperoleh dari hasil ultrafiltrasi kedua membran PES cukup berbeda secara signifikan. Pada filtrasi membran PES 15% permeat yang diperoleh ialah 1,125 L sedangkan pada ultrafiltrasi membran PES 20% ialah 700 mL. Pengukuran nilai fluks dilakukan untuk mengetahui kemampuan membran dalam melewatkan sejumlah volume umpan.

4.1.2 Kinerja Metode Kombinasi Saringan Bertingkat-Ultrafiltrasi Membran PES Berdasarkan Kemampuan Menurunkan Parameter Pencemar

Berdasarkan hasil pengujian sampel awal limbah cair domestik yang diambil dari salah satu rumah makan yang berlokasi di Gampong Lambhuk, Kota Banda Aceh dengan parameter yaitu pH, TSS, COD dan kekeruhan dapat dilihat pada tabel 4.1. Dimana dari hasil pengujian awal dapat diketahui bahwa limbah cair rumah makan tersebut tidak memenuhi standar baku mutu limbah cair domestik yang diperbolehkan dibuang ke lingkungan yang telah ditetapkan berdasarkan Peraturan Menteri Lingkungan Hidup dan Kehutanan Republik Indonesia No. 68 Tahun 2016 Tentang Baku Mutu Air Limbah Domestik, serta Peraturan Menteri Kesehatan Republik Indonesia Nomor 32 Tahun 2017 Tentang Standar Baku Mutu Kesehatan Lingkungan dan Persyaratan Kesehatan Lingkungan dan Persyaratan Kesehatan Air untuk Keperluan Higiene Sanitasi, Kolam Renang, Solus Per Aqua dan Pemandian Umum.

Tabel 4.1 Hasil pengujian awal sampel limbah cair rumah makan

No.	Parameter	Baku Mutu	Hasil Uji
1.	pH	6-9	5.5
2.	TSS (mg/L)	30	1.044
3.	COD (mg/L)	100	590

4.	Kekeruhan (NTU)	25	495
----	-----------------	----	-----

Dengan demikian, perlu dilakukannya pengolahan terhadap limbah cair rumah makan untuk menurunkan parameter pencemar seperti pH, TSS, COD dan kekeruhan dengan menggunakan metode kombinasi saringan bertingkat dan ultrafiltrasi membran PES. Sehingga hasil pengujian sampel limbah cair rumah makan sesudah dan sebelum perlakuan serta efektivitas degradasi dapat dilihat pada Tabel 4.2.

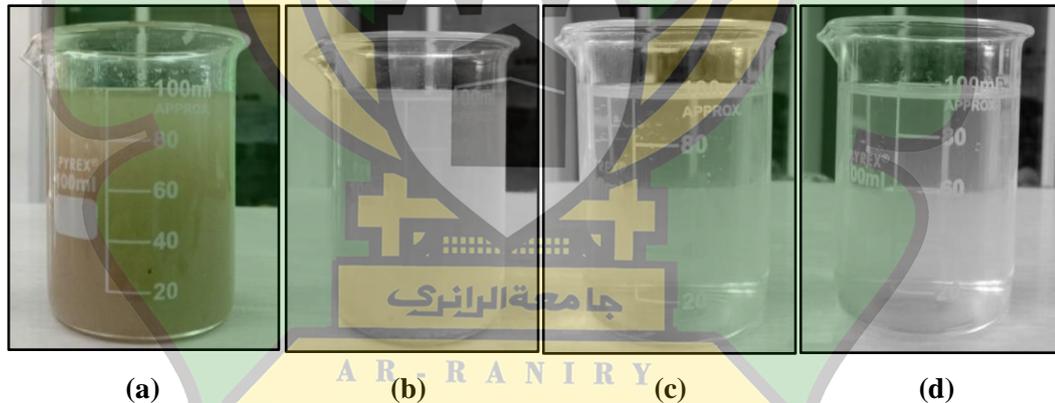


Tabel 4.2 Hasil eksperimen dan efektivitas (%) penurunan parameter pH, TSS, COD dan kekeruhan pada limbah cair rumah makan Gampong Lambhuk, Kota Banda Aceh sebelum dan setelah perlakuan

Bentuk Eksperimen	Variasi Konsentrasi Membran (%)	Parameter						
		pH	TSS (mg/L)	Ef TSS (%)	COD (mg/L)	Ef COD (%)	Kekeruhan (NTU)	Ef Kekeruhan (%)
Baku Mutu		6-9	30	-	100	-	25	-
Pengukuran Awal		5,5	1,044	-	590	-	594	-
Saringan Bertingkat		6,9	116	88,89	103	82,54	130	78,11
Saringan Bertingkat + Filtrasi Membran	15%	6,9	23	97,80	96	83,73	18,6	96,87
	20%	6,9	17	98,37	70	88,14	17,65	97,03

Berdasarkan data hasil eksperimen yang disajikan pada Tabel 4.2 dengan perlakuan pengolahan limbah cair rumah makan menggunakan metode kombinasi saringan bertingkat-ultrafiltrasi membran PES 15% menghasilkan perubahan yang signifikan terhadap parameter pH menjadi 6.9, persentase penurunan TSS mencapai 97.80%, COD mencapai 83.73% dan kekeruhan mencapai 95.56%. Sedangkan menggunakan saringan bertingkat-ultrafiltrasi membran PES 20% menghasilkan perubahan yang signifikan terhadap parameter pH menjadi 6.9, persentase penurunan TSS mencapai 98.37%, COD mencapai 88.14% dan kekeruhan mencapai 95.96%.

Pada Gambar 4.4 disajikan perbandingan hasil pengolahan limbah cair rumah makan menggunakan metode kombinasi saringan bertingkat-ultrafiltrasi membran PES 15% dan PES 20%, sampel menunjukkan perubahan secara signifikan, sampel hasil eksperimen jauh lebih bersih dibandingkan sampel yang belum dilakukan eksperimen.



Gambar 4.4 Tampilan fisik limbah cair rumah makan (a) sebelum eksperimen, (b) setelah eksperimen dengan saringan bertingkat, (C) setelah eksperimen dengan ultrafiltrasi PES 15%, (D) setelah eksperimen dengan ultrafiltrasi PES 20%.

4.2 Pembahasan

4.2.1 Karakteristik Membran

1. Morfologi Membran

Berdasarkan hasil analisis morfologi membran menggunakan SEM struktur permukaan membran dalam Gambar 4.1 (A dan C) baik membran PES 15% maupun PES 20% pori membran tidak dapat terdeteksi jelas pada magnifikasi 10.000 kali, kedua membran tersebut diklasifikasikan sebagai membran ultrafiltrasi dengan rentang ukuran pori yaitu $0,001 - 0,1 \mu\text{m}$ (Razi dkk., 2019). Kemudian terlihat di kedua gambar permukaan membran terdapat penumpukan atau penggumpalan TiO_2 dan membentuk struktur, namun pada permukaan membran PES 15% butiran titanium lebih terlihat, ini dikarenakan seiring dengan meningkatkannya konsentrasi TiO_2 yang ditambahkan jumlah butiran titanium semakin banyak terbentuk di lapisan (Esnahati dkk., 2016).

Dikarenakan pada permukaan membran tidak terdeteksi ukuran mikropori maka kemudian dilakukan pengamatan untuk makropori pada struktur *cross section* atau penampang melintang terlihat pada Gambar 4.1 (B dan D) bahwa kedua membran merupakan membran asimetris dengan terdapatnya dua lapisan, yaitu lapisan atas yang tipis dan rapat kemudian lapisan bawah memiliki struktur pori berbentuk jari yang memiliki fungsi sebagai penyangga dan pemberi ketahanan mekanik pada membran (Mulyati dkk., 2017). Fenomena ini terjadi karena cairan dengan viskositas yang tinggi pada membran terdifusi oleh cairan dengan viskositas yang lebih rendah sehingga menyebabkan terbentuk rongga berbentuk jari atau biasa disebut *finger-like macrovoid* (Fadli dkk., 2021). Pada membran PES 20% membentuk pori yang lebih kecil dan rapat dibandingkan membran PES 15% dengan rentang ukuran pori yang telah diukur menggunakan *software* ImageJ rata-rata yaitu $2 \mu\text{m} - 6 \mu\text{m}$ dengan rata-rata pori yang terbentuk yaitu $2 \mu\text{m} - 3 \mu\text{m}$. Hal ini dipengaruhi oleh konsentrasi polimer PES yang lebih besar, dimana semakin tinggi konsentrasi polimer membran maka kerapatan partikelnya semakin padat sehingga ukuran pori membran semakin kecil ini sejalan dengan penelitian yang telah dilakukan oleh (Fathanah dkk., 2019).

2. Komposisi Membran

Komposisi kimia membran PES 15% dan PES 20% yang telah dianalisa menggunakan FTIR sebagaimana diperlihatkan pada Gambar 4.3 karakteristik spektrum IR membran yang terbentuk yaitu menandakan PES murni dicirikan dengan terbentuknya ikatan kimia C-O-C, terbentuk ikatan C=C asimetrik yang menandakan adanya ikatan aromatik (Razi dkk., 2019), kemudian terdapat gugus cincin aromatik C=C-C dan gugus sulfon O=S=O Fathanah dkk, (2019), serta C-H aromatik pada bilangan gelombang 834 cm^{-1} . Terlihat spektra IR pada membran PES 15% dan membran PES 20% hampir persis berimpit dimana terdapat hanya sedikit intensitas serapan yang sedikit lebih tinggi pada membran PES 20% dikarenakan konsentrasi polimer yang lebih tinggi dibandingkan pada membran PES 15%.

Kemudian juga dikarenakan membran PES 20% dibuat dengan menggunakan jumlah pelarut DMF yang lebih banyak jika dibandingkan jumlah pelarut DMF pada membran PES 15% dimana terdeteksi gugus C-O merupakan gugus fungsi dimetilformamida yang memiliki intensitas yang relatif lebih tinggi pada membran PES 20%.

Terlihat juga puncak serapan ikatan vibrasi O-H stretching yang berkaitan dengan atom Ti (Ti-OH) dan juga menandakan adanya penyerapan air oleh TiO_2 yang bersifat hidrofilik (Esnahati dkk., 2016). Sementara ikatan vibrasi milik O-H bending yang menunjukkan terdapat kandungan air di dalam sampel (Deswardani dkk., 2020). Terdapatnya ikatan vibrasi O-H ini menandakan keberadaan molekul air di dalam sampel TiO_2 , karena menurut Fadli dkk, (2021) polimer PES tidak memiliki ikatan O-H dalam strukturnya, maka dapat dipastikan keberadaan struktur O-H ini dapat diperoleh dari penggunaan aquades sebagai koagulan selama proses pembuatan atau karena sampel saat dilakukan FTIR dalam keadaan basah. Selanjutnya pada keberadaan ikatan vibrasi Ti-O yang merupakan khas milik TiO_2 (Deswardani dkk., 2020).

Tabel 4.3 Karakteristik FTIR berdasarkan bilangan gelombang dan gugus fungsi

Bilangan Gelombang (cm ⁻¹)	Gugus Fungsi	Sumber
3368	O-H stretching	Esnahati dkk, 2016
1638	O-H bending	Deswardani dkk, 2020
1577	C=C	Razi dkk, 2019
1485	C=C-C	Fathanah, 2019
1240	C-O-C	Razi dkk, 2019
1105	O=S=O	Fathanah, 2019
834	C-H aromatic	Fathanah, 2019
553	Ti-O	Deswardani dkk, 2020

3. Fluks Membran

Dari hasil permeat yang telah diperoleh dari ultrafiltrasi yang telah diaplikasikan dengan persamaan 2 menghasilkan nilai fluks setiap membran. Dari hasil tersebut mengindikasikan bahwa membran PES 15% mempunyai nilai fluks yang lebih tinggi dibandingkan dengan membran PES 20%. Ini dikarenakan membran PES 15% mempunyai lapisan yang rapat (*dense layer*) lebih tipis dibandingkan dengan membran PES 20% sehingga fluks yang melewati membran lebih tinggi (Mulyati dkk., 2017). Kemudian tingginya nilai fluks pada membran PES 15% juga disebabkan oleh konsentrasi TiO₂ pada membran PES 15% lebih tinggi, sesuai dengan penelitian Esnahati dkk. (2016) penambahan TiO₂ dapat meningkatkan nilai fluks pada membran, karena ketika TiO₂ ditambahkan pori akan lebih banyak terbentuk dan lapisan atas yaitu permukaan membran akan tertutupi dengan nanopartikel. Hal ini membuat daya tahan membran jadi berkurang dan ini yang kemudian membuat nilai fluks bertambah.

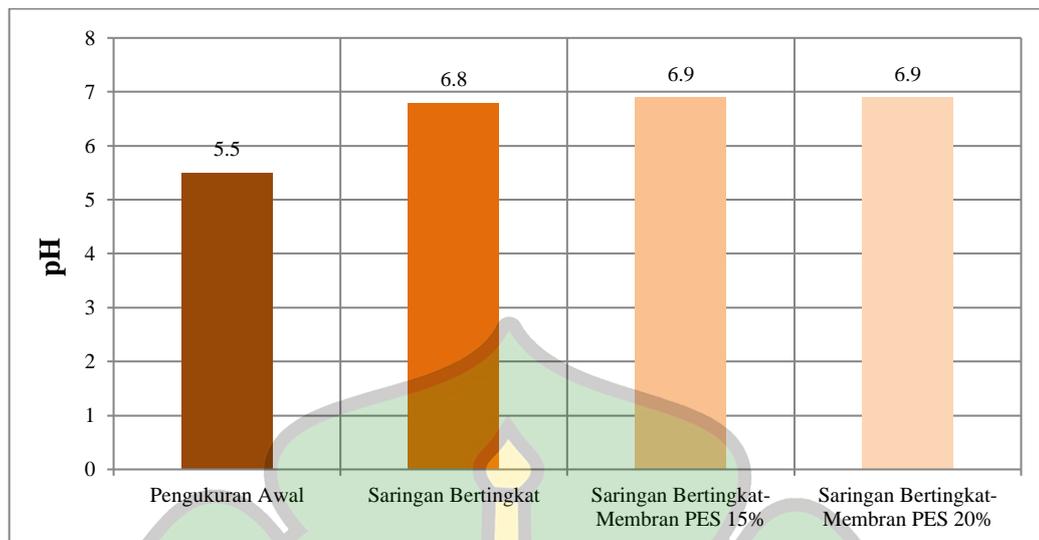
Nilai fluks terbesar diperoleh pada membran PES 15% dimana pada tekanan 3 bar menunjukkan fluks 0,028 L/m².jam, sedangkan pada membran PES 20% dengan tekanan 3 bar menunjukkan fluks sebesar 0,018 L/m².jam.

4.2.2 Keefektifan Gabungan Metode Saringan Bertingkat-Ultrafiltrasi Membran *Polyethersulfone* (PES) Terhadap Penurunan Parameter Pencemar

1. Parameter pH

Berdasarkan hasil eksperimen menggunakan saringan bertingkat yang telah dilakukan terlihat perubahan nilai pH dari semula bersifat asam dengan nilai 5.5 mengalami kenaikan menjadi bersifat normal dengan nilai 6.9. Penurunan ini juga dipengaruhi oleh jenis media yang digunakan dalam proses filtrasi, karena media seperti karbon aktif mempunyai kemampuan yang cukup baik dalam mengikat ion-ion logam dan partikel-partikel halus lainnya (Sadaruddin dan Nour, 2020). Jenis karbon aktif yang digunakan dalam eksperimen seperti zeolit akan mengikat kation saat dilewati limbah cair, karena zeolit bermuatan negatif untuk menyeimbangkan ion sehingga yang tersisa adalah ion-ion negatifnya. Berkurangnya ion-ion (H^+) dan tersisanya ion-ion (H^-) menjadi penyebab dari kenaikan pH (Sulianto dkk., 2020). Selain zeolit, arang aktif juga memiliki peran dalam kenaikan pH dalam eksperimen ini karena zat-zat organik yang terdapat dalam limbah cair domestik dapat masuk ke dalam pori-pori arang aktif dan kemudian diadsorpsi sehingga terjadinya serapan ion hidrogen (H^+) dan mengalami kenaikan nilai pH (Utomo dkk., 2018).

Penggunaan media pasir dan kerikil juga memiliki peran dalam menahan zat-zat organik dan partikel-partikel pencemar yang terdapat dalam limbah cair domestik. Karena semakin kecil ukuran pasir yang digunakan maka semakin banyak polutan yang dapat tertahan pada pori-pori pasir. Hal ini sejalan dengan penelitian yang telah dilakukan oleh Utomo dkk., (2018) dan Sulianto dkk., (2020) dimana penggunaan media pasir, kerikil, karbon aktif dan zeolit dapat menaikkan nilai pH pada limbah cair domestik.



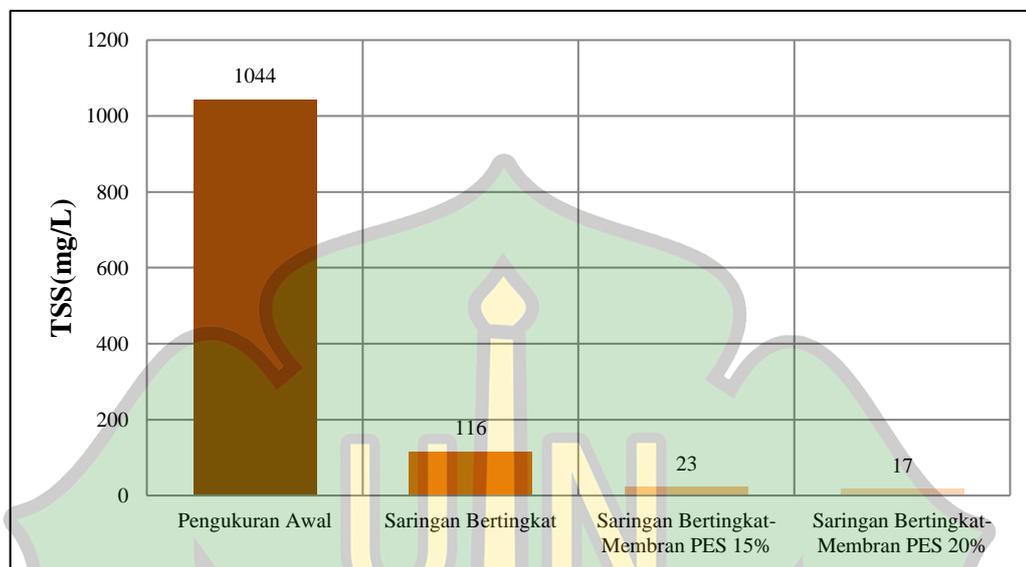
Gambar 4.5 Grafik perubahan pH

Gambar 4.5 memperlihatkan terjadinya perubahan nilai pH limbah cair rumah makan yang semula bersifat asam dengan nilai pH yaitu 5.5, jika didasarkan pada Peraturan Menteri Lingkungan Hidup dan Kehutanan Republik Indonesia Nomor 68 Tahun 2016 Tentang Baku Mutu pH Air Limbah Domestik yang diperbolehkan dibuang ke lingkungan adalah 6-9, yang berarti pH air limbah rumah makan belum memenuhi baku mutu.

2. Parameter TSS (*Total Suspended Solid*)

TSS (*Total Suspended Solid*) atau total padat tersuspensi merupakan berbagai macam zat padat dari total padatan baik bersifat organik maupun anorganik (Reski, 2018). Jika terdapat kandungan TSS berlebih dapat menghambat energi cahaya yang akan masuk ke dalam air limbah, kemudian dapat mempengaruhi proses fotosintesis, TSS juga merupakan padatan-padatan yang tidak bisa terlarut dan mengendap dengan sendirinya (Rumi dkk., 2022). Konsentrasi TSS limbah cair rumah makan sebelum perlakuan dapat dilihat pada Tabel 4.2 yaitu sebesar 1.044 mg/L dan terjadi penurunan pada perlakuan filtrasi saringan bertingkat sebesar 88.89% menjadi 116 mg/L. Hasil ini sejalan dengan penelitian yang telah dilakukan oleh Hasanah dan Sugito (2017) efektivitas penurunan TSS mencapai 94.57%, proses penurunan menggunakan arang aktif dengan menyerap partikel koloid dan memisahkan padatan tersuspensi, semakin

tebal arang aktif yang digunakan dapat meningkatkan daya serap terhadap zat-zat pencemar dalam limbah. Didukung dengan media filter pasir dan zeolit yang sudah terbukti sebagai media filtrasi dan adsorben yang baik.



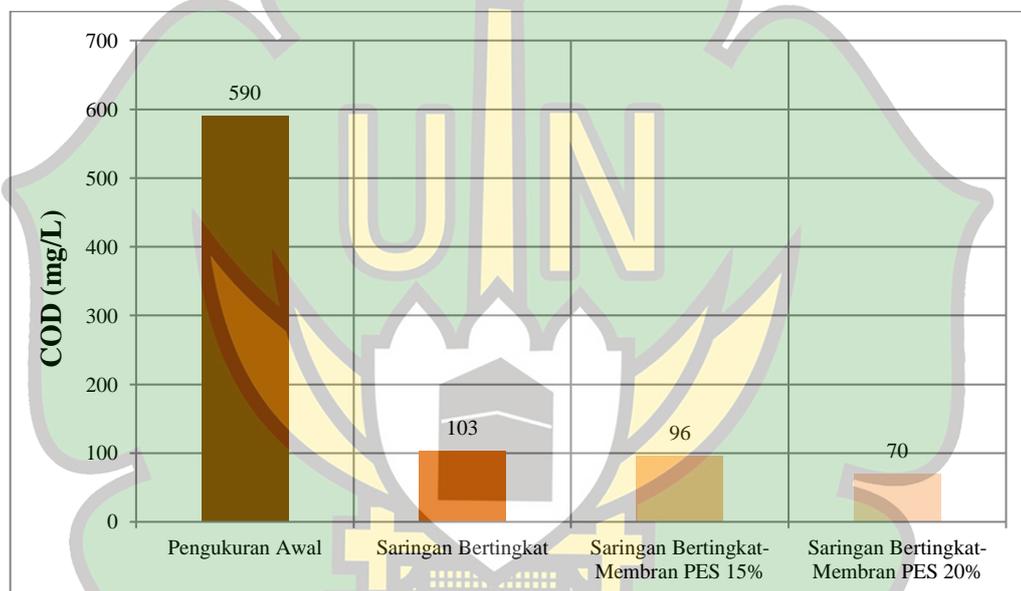
Gambar 4.6 Grafik perubahan nilai TSS

Meskipun telah dilakukan perlakuan dengan saringan bertingkat, namun penurunan nilai TSS masih belum memenuhi baku mutu yang telah ditetapkan berdasarkan Peraturan Menteri Lingkungan Hidup dan Kehutanan Republik Indonesia Nomor 68 Tahun 2016 Tentang Baku Mutu Air Limbah Domestik yang diperbolehkan untuk konsentrasi TSS yaitu 30 mg/L. Gambar 4.6 memperlihatkan penurunan TSS yang signifikan pada perlakuan metode gabungan saringan bertingkat-ultrafiltrasi membran PES 15% dan membran PES 20% dengan efektivitas berturut-turut yaitu 97.80% dengan konsentrasi TSS 23 mg/L dan 98.37% dengan konsentrasi TSS yaitu 17 mg/L. Ini disebabkan oleh padatan tersuspensi dalam limbah cair dengan ukuran partikel yaitu 2 μm otomatis akan tertahan dengan pori membran yang terbentuk sebesar 0,001 – 0,1 μm .

3. Parameter COD (*Chemical Oxygen Demand*)

Berdasarkan Tabel 4.2 dapat dilihat hasil pengecekan awal limbah cair rumah makan sebelum perlakuan hasil nilai COD cukup tinggi yaitu 540 mg/L, nilai tersebut jauh dari nilai baku mutu yang telah ditetapkan dalam Peraturan Menteri Lingkungan Hidup dan Kehutanan Republik Indonesia Nomor 68 Tahun

2016 Tentang Baku Mutu COD Air Limbah Domestik sehingga memerlukan perlakuan tambahan untuk menurunkan nilai tersebut. Nilai COD yang tinggi pada air limbah mengindikasikan kuantitas oksigen yang diperlukan untuk mengoksidasi zat organik pada air limbah atau nilai angka sebagai ukuran terhadap pencemaran air limbah oleh zat-zat organik. Hal ini bermakna semakin tinggi nilai COD maka kadar oksigen yang dibutuhkan untuk mengoksidasi zat-zat organik juga semakin banyak, yang menunjukkan tingginya kandungan polutan organik dalam limbah cair rumah makan (Pungus dkk., 2019).



Gambar 4.7 Grafik perubahan nilai COD

Dalam Gambar 4.7 terlihat penurunan COD dari nilai awal 540 mg/L menjadi 103 mg/L setelah perlakuan dengan saringan bertingkat. Hal ini disebabkan oleh penggunaan jenis media filtrasi yang digunakan, dimana sesuai penelitian yang telah dilakukan oleh Asadiya dan Karnaningroem (2018) zeolit dan arang aktif dapat mengadsorpsi zat-zat organik yang terdapat dalam limbah, semakin menurunnya zat organik maka nilai COD ikut menurun, kemudian penurunan COD didukung dengan adanya daya serap pada pasir silika yang digunakan.

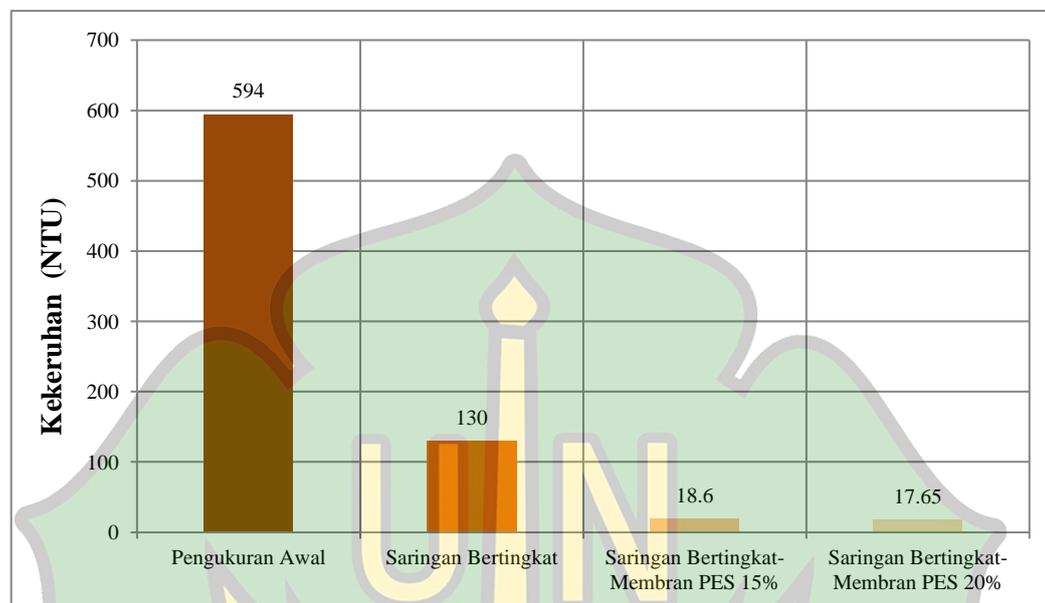
Meskipun setelah perlakuan dengan saringan bertingkat nilai COD masih belum dapat memenuhi batas baku mutu yang telah ditetapkan, sehingga

diperlukan perlakuan lanjutan menggunakan ultrafiltrasi membran PES. Dapat dilihat pada Tabel 4.2 setelah dilakukan perlakuan dengan menggunakan metode gabungan saringan bertingkat-ultrafiltrasi membran PES terjadi penurunan signifikan. Pada perlakuan metode gabungan saringan bertingkat-ultrafiltrasi membran PES 15% terjadi penurunan sebesar 83.73% dengan nilai awal 540 mg/L menjadi 96 mg/L, sedangkan pada perlakuan metode gabungan saringan bertingkat-ultrafiltrasi membran PES 20% terjadi penurunan sebesar 88.14% menjadi 70 mg/L, hal ini disebabkan oleh peranan morfologi pori membran yang terbentuk seperti terlihat pada Gambar 4.1 Seperti disebutkan dalam Notodarmojo dkk., (2004) konsentrasi COD pada limbah juga disebabkan karena adanya kandungan minyak yang tinggi, sehingga dengan adanya perlakuan ultrafiltrasi membran terjadi penahanan makromolekul pada membran terhadap padatan tersuspensi dan padatan terlarut yang menyebabkan deposisi partikel pada membran lebih mudah terbentuk. Deposisi partikel pada permukaan membran akan membentuk lapisan gel dan terbentuknya lapisan cake dan secara tidak langsung memberikan efek penyaringan bagi umpan yang akan melewati membran, sehingga sejalan bertambahnya waktu kualitas permeat yang dihasilkan semakin baik.

4. Parameter Kekeruhan

Kekeruhan erat kaitannya dengan konsentrasi TSS yang ada pada limbah, karena kekeruhan pada air salah satu penyebabnya karena terdapat kandungan zat padat tersuspensi. Zat padat tersuspensi ini terdiri dari berbagai macam zat, seperti bahan-bahan anorganik atau dapat pula berupa bahan-bahan organik yang melayang di dalam air (Reski, 2018). Sifat keruh pada air atau limbah hakikatnya dapat terlihat dengan mata secara langsung, namun untuk memastikan pada penelitian ini kadar kekeruhan pada air limbah rumah makan diukur menggunakan Turbidimeter dengan skala NTU (*Nephelometrix Turbidity Unit*). Pada Tabel 4.2 dapat dilihat hasil dari pengukuran awal nilai kekeruhan pada limbah cair rumah makan didapat yaitu sebesar 594 NTU, kemudian setelah pengolahan dengan

saringan bertingkat terjadi penurunan nilai kekeruhan namun belum sesuai baku mutu yang telah ditetapkan.



Gambar 4.8 Grafik perubahan nilai kekeruhan

Berdasarkan Gambar 4.8 pengolahan limbah rumah makan menggunakan saringan bertingkat dapat menurunkan nilai kekeruhan dengan efektivitas mencapai 78.11% yaitu 130 NTU, penurunan ini dapat disebabkan oleh jenis penggunaan media filtrasi yang digunakan seperti kerikil yang mempunyai peran sebagai sela agar air dapat mengalir melalui lubang bawah, sehingga dapat menyaring kotoran kasar dan kontaminan lainnya (Fajri dkk., 2017). Dan juga salah satu penyebab penurunan kekeruhan pada air limbah adalah kemampuan media filter karbon aktif untuk membentuk ikatan kompleks antara selulosa dan tingkat kekeruhan, ikatan yang terbentuk begitu kuat hingga sulit untuk dilepaskan (Ariani dkk., 2017) dan khususnya pada pasir silika dengan porositas tinggi, luas permukaan yang besar juga akan memberikan kapasitas filtrasi yang tinggi dan dapat mengubah air kotor menjadi air bersih (Mahyudin, 2016). Kemudian dari hasil eksperimen yang dilakukan dengan metode kombinasi saringan bertingkat-ultrafiltrasi membran PES diperoleh nilai kekeruhan 18.6 NTU dan 17.65, hasil ini membuktikan bahwa ukuran pori memiliki peranan

penting dalam penyisihan atau penurunan kekeruhan (Notodarmojo dan Deniva, 2004). Hal ini sejalan dengan penelitian yang telah dilakukan Nandari dkk. (2018), teknologi membran dapat mengolah air dengan baik dan didukung dengan adanya *pre-treatment* menggunakan saringan bertingkat yang dapat mengurangi beban membran karena air terlebih dahulu sudah mengalami penurunan tingkat kekeruhan dan memperlambat proses *fouling* sehingga umur membran lebih lama.



BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Adapun kesimpulan dari penelitian yang telah dilakukan untuk menjawab pertanyaan-pertanyaan penelitian adalah :

1. Membran *flat* PES yang telah dibuat secara inversi fasa dengan konsentrasi PES polimer sebesar 15% dan 20% menggunakan pelarut DMF dan aditif TiO₂, memperoleh membran yang masuk ke dalam rentang membran ultrafiltrasi (UF). Nilai fluks yang diperoleh membran PES 20% yaitu 0,018 lebih rendah dari fluks membran PES 15% yaitu 0,028, dikarenakan dari hasil SEM dapat terlihat pori membran PES 20% lebih kecil dan rapat, selain itu penambahan aditif dapat mengubah sifat membran PES yang hidrofobik menjadi membran yang hidrofilik.
2. Penggunaan metode gabungan saringan bertingkat dan ultrafiltrasi membran PES (*polyethersulfone*) terhadap penurunan serta degradasi dari limbah cair rumah makan. Nilai perubahan pH menjadi menjadi 6,9, efektivitas degradasi nilai TSS mencapai 98,37%, degradasi nilai BOD mencapai 88,14%, dan degradasi nilai kekeruhan mencapai 97,03%.

5.2 Saran

Berdasarkan hasil yang diperoleh, peneliti mengajukan saran-saran sebagai berikut :

1. Perlu dilakukannya desain ulang pada saringan bertingkat untuk memudahkan apabila diperlukan *backwash* terhadap media filter.
2. Perlu dilakukan penelitian lanjutan untuk mengetahui efektivitas penyisihan parameter pada limbah cair rumah makan menggunakan membran bentuk tubular tanpa adanya *pre-treatment*.
3. Perlu dipelajari bagaimana efektivitas penyisihan parameter pada limbah cair rumah makan pada variasi tekanan yang lain, sekaligus untuk mempelajari

sejauh mana ketahanan mekanik pada membran.

4. Perlu dipelajari bagaimana *long time stability* dari ultrafiltrasi membran ketika diaplikasikan untuk penyisihan parameter dari limbah cair rumah makan.
5. Perlu dipelajari efektivitas terhadap penurunan parameter biologis pada limbah cair rumah makan menggunakan teknologi ultrafiltrasi membran.



DAFTAR PUSTAKA

- Agustina, S. (2006). 178712-ID-teknologi-membran-dalam-pengolahan-limba. *Bulletin Penelitian*, 28(1), 18–24.
- Aprianto, muhamad subhan. (2018). Karakterisasi Ftir Membran Komposit Nilon-Arang Berbahan Dasar Limbah Jaring Benang Nilon Dan Ampas Tebu. In *Skripsi Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Jember*.
- Aprilia, S., & Amin, A. (2011). Sintesis dan Karakterisasi Membran untuk Proses Ultrafiltrasi. *Jurnal Rekayasa Kimia & Lingkungan*, 8(2), 84–88.
- Ariani, W., Sumiyati, S., & Wardana, I. W. (2017). Studi Penurunan Kadar Cod Dan Tss Pada Limbah Cair Rumah Makan Dengan Teknologi Biofilm Anaerob - Aerob Menggunakan Media Bioring Susunan Random. *Jurnal Teknik Lingkungan*, 3(1), 1–10.
- Ariyanti, D., Widiastuti, N., & Safarina, N. (2020). Kinerja Membran Plat Berpori Berbasis Selulosa Asetat yang Disintesis Secara Inversi Fasa untuk Ultrafiltrasi Bakteri E . coli di PDAM Surabaya Performance of Cellulose Acetate-Based Porous Plate Membranes Synthesized by Phase Inversion for Ultrafiltratio. *Jurnal Teknologi Lingkungan*, 21(2), 165–173.
- Artiyani, A., & Firmansyah, N. H. (2016). Kemampuan Filtrasi Upflow Pengolahan Filtrasi Up Flow Dengan Media Pasir Zeolit Dan Arang Aktif Dalam Menurunkan Kadar Fosfat Dan Deterjen Air Limbah Domestik. *Industri Inovatif*, 6(1), 8–15.
- Asadiya, A., & Karnaningroem, N. (2018). Pengolahan Air Limbah Domestik Menggunakan Proses Aerasi, Pengendapan, dan Filtrasi Media Zeolit-Arang Aktif. *Jurnal Teknik ITS*, 7(1).
- Badan Standardisasi Nasional. (2004). Air dan air limbah – Bagian 3: Cara uji padatan tersuspensi total (Total Suspended Solid, TSS) secara gravimetri. *Sni 06-6989.3-2004*, 10.
- Badan Standardisasi Nasional. (2005). *SNI 06-6989.25-2005 Air dan air limbah – Bagian 25 : Cara uji kekeruhan dengan nefelometer*. 9.
- Badan Standardisasi Nasional. (2008). Metoda Pengambilan Contoh Air limbah. *Sni 6989.59:2008*, 59, http://ciptakarya.pu.go.id/plp/upload/peraturan/SNI_6989-59-2008-_Metoda-Pengambilan-Contoh-Air-Limbah.pdf
- Deswardani, F., Nelson, Nurhidayah, Fahyuan, H. D., & Afrianto, M. F. (2020). Analisis Gugus Fungsi Pada Tio2/Biochar Dengan Spektroskopi FTIR (Fourier Transform Infrared). *Journal Online of Physics*, 5(2), 54–58.

- Esnahati, Susanto, H., & Syafrudin. (2016). Pengaruh Penambahan Nano-Tio₂ Sebagai Agen Anti-Bakterial Dalam Pembuatan Membran Selulosa Asetat-Kitosan Terhadap Biofouling Yang Disebabkan Oleh Bakteri Gram Negatif Dan Positif. *Jurnal Teknik Lingkungan*, 5(4).
- Fadli, M., Khausar, A., Sofyana, & Fathanah, U. (2021). Karakteristik Membran Komposit Polietersulfon, Polivinilpirolidon dan Kitosan. *Serambi Engineering*, VI(4), 2310–2319.
- Fajri, M. N., Handayani, Y. L., & Sutikno, S. (2017). Efektifitas Rapid Sand Filter untuk Meningkatkan Kualitas Air Daerah Gambut di Provinsi Riau. *Jom FTEKNIK*, 4(1), 1–9.
- Fathanah, U., Machdar, I., Riza, M., Rahman, N. A., Lubis, M. R., Qibtiyah, M., & Jihannisa, R. (2019). Pembuatan dan Karakterisasi Membran Polyethersulfone (PES)-Kitosan Secara Blending Polimer. *Proceeding Seminar Nasional Politeknik Negeri Lhokseumawe*, 3(1), 62–66.
- Hamuna, B., Tanjung, R. H. R., Suwito, S., Maury, H. K., & Alianto, A. (2018). Kajian Kualitas Air Laut dan Indeks Pencemaran Berdasarkan Parameter Fisika-Kimia di Perairan Distrik Depapre, Jayapura. *Jurnal Ilmu Lingkungan*, 16(1), 35. <https://doi.org/10.14710/jil.16.1.35-43>
- Herlambang, A., & Said, N. I. (2018). Aplikasi Teknologi Pengolahan Air Sederhana Untuk Masyarakat Pedesaan. *Jurnal Air Indonesia*, 1(2). <https://doi.org/10.29122/jai.v1i2.2310>
- Ilmannafian, A. G., Lestari, E., & Khairunisa, F. (2020). Pengolahan Limbah Cair Pabrik Kelapa Sawit dengan Metode Filtrasi dan Fitoremediasi Menggunakan Tanaman Eceng Gondok (*Eichhornia Crassipes*). *Jurnal Teknologi Lingkungan*, 21(2), 244–253.
- Izaak, A., & Wijaya, F. (2020). Analisis Pengaruh Jenis dan Ukuran Pasir Filter Pada Pengolahan Kualitas Air. *SKRIPSI FAKULTAS TEKNIK*, 1–58.
- Khuluk, R. H. (2016). Pembuatan dan Karakterisasi Karbon Aktif dari Tempurung Kelapa (*Cocos nucifera* L.) sebagai Adsorben Warna dan Metilen Biru. *Fakultas Matematika Dan Ilmu Pengetahuan Alam*.
- Komarudin, & Yodu, S. (2009). *Transparansi dan Akuntabilitas Pelayanan Publik Kasus Teknologi Pengelolaan Air Bersih dan Air Limbah Domestik*. 5(1).
- Kurniasih, N. (2002). Pengelolaan DAS Citarum berkelanjutan. *Jurnal Teknologi Lingkungan*, 3(2), 82–91.
- Kurniawan, I., & Mariadi, P. D. (2016). Review : Profil Hybrid Membrane dalam Proses Reduksi Air Limbah (Ian Kurniawan, Pra Dian Mariadi). *KONVERSI*, 5(1), 1–10.

- Maharani, R. M., & Damayanti, A. (2013). Pengolahan Limbah Cair Rumah Makan Menggunakan Membran Nanofiltrasi Silika Aliran Cross Flow untuk Menurunkan Fosfat dan Amonium. *Jurnal Teknik Pomits*, 2(2).
- Mahyudin. (2016). Analisis Kualitas Air dengan Filtrasi Menggunakan Pasir Silika sebagai Media Filter (dengan Parameter Fe, pH, dan Kadar Lumpur). *Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Yogyakarta*, 10–24.
- Mardianto, W. (2014). Pengolahan Limbah Cair Rumah Makan Menggunakan Sistem Kombinasi Abr Dan Wetland Dengan Sistem Kontinyu. *Jurnal Teknologi Lingkungan Lahan Basah*, 2(1), 1–10. <https://doi.org/10.26418/jtlb.v2i1.6746>
- Maria Widyasmara dan Cindika Kusuma Dewi. (2013). Potensi Membran Mikrofiltrasi Dan Ultrafiltrasi Untuk Pengolahan Limbah Cair Berminyak. *Jurnal Teknologi Kimia Dan Industri*, 2(2), 295–307.
- Mifbakhuddin. (2014). Pengaruh Ketebalan Karbon Aktif sebagai Media Filter terhadap Penurunan Kesadahan. *Jurnal Kesehatan*, 5, 1–11.
- Mulder, M. (1996). Basic Principles of Membrane Technology. 2nd Edition. In *Kluwer Academic Publishers*.
- Mulyati, S. (2018). Karakterisasi dan Analisa Kinerja Membran Selulosa Asetat untuk penyisihan Ion Logam Cr 3 + dan Cd 2 + dalam air dengan Proses Ultrafiltrasi Characterization and Performance Analysis of Cellulose Acetate Membranes for Metal Ions Removal of Cr 3 + dan Cd 2. *Jurnal Rekayasa Kimia Dan Lingkungan*, 13(2), 127–134.
- Mulyati, S., Razi, F., & Zuhra, Z. (2017). Karakteristik Membran Asimetris Polietersufone (PES) dengan Pelarut Dimetil Formamide dan N-Metil-2-Pyrolidone. *Biopropal Industri*, 8(1), 55–62.
- Mutia, E. (2016). Proses Pemisahan Menggunakan Teknologi Membran. In *Journal of Chemical Information and Modeling* (Vol. 53, Issue 9).
- Nandari, W. W., Utami, A., Yogafanny, E., & Kristiati, M. T. (2018). Pengolahan Air Terproduksi Dengan Membran Bioreaktor Di Wilayah Penambangan Wonocolo. *Eksergi*, 15(2), 34. <https://doi.org/10.31315/e.v15i2.2384>
- Nasir, S., Budi, T., & Silviaty, I. (2013). Aplikasi Filter Keramik Berbasis Tanah Liat Alam dan Zeolit Pada Pengolahan Air Limbah Hasil Proses Laundry. *Jurnal Bumi Lestrari*, 13(1), 45–51. <https://ojs.unud.ac.id/index.php/blje/article/view/6516/5014>
- Nasution, M. S., Mataram, A., Yani, I., & Septano, G. D. (2022). Characteristics of a PVDF–Tin Dioxide Membrane Assisted by Electric Field Treatment. *Membranes*, 12(8). <https://doi.org/10.3390/membranes12080772>

- National Standardization Agency of Indonesia. (2004). Water and waste water - Chapter 11: Method of pH by pH meter (SNI 06-6989.11-2004). *National Standardization Agency of Indonesia*, 1–3.
- Nilasari, E., Faizal, M., & Suheryanto. (2016). Pengolahan Air Limbah Rumah Tangga dengan Menggunakan Proses Gabungan Saringan Bertingkat dan Bioremediasi Eceng Gondok (*Eichornia crassipes*), (Studi Kasus di perumahan Griya Mitra 2, Palembang). *Jurnal Peneliti Sains*, 18(1), 8–13.
- Notodarmojo, S., & Deniva, A. (2004). Penurunan Zat Organik dan Kekeruhan Menggunakan Teknologi Membran Ultrafiltrasi dengan Sistem Aliran Dead-End (Studi Kasus : Waduk Saguling, Padalarang). *ITB Journal of Sciences*, 36(1), 63–82. <https://doi.org/10.5614/itbj.sci.2004.36.1.5>
- Notodarmojo, S., Mayasanthi, D., & Zulkarnain, T. (2004). Pengolahan Limbah Cair Emulsi Minyak dengan Proses Membran Ultrafiltrasi Dua-tahap Aliran Cross-flow. *ITB Journal of Sciences*, 36(1), 45–62. <https://doi.org/10.5614/itbj.sci.2004.36.1.4>
- Pohan, D. A. S., Budiyo, B., & Syafrudin, S. (2017). Analisis Kualitas Air Sungai Guna Menentukan Peruntukan Ditinjau Dari Aspek Lingkungan. *Jurnal Ilmu Lingkungan*, 14(2), 63. <https://doi.org/10.14710/jil.14.2.63-71>
- Priadie, B. (2012). Teknik Bioremediasi Sebagai Alternatif Dalam Upaya Pengendalian Pencemaran Air. *Jurnal Ilmu Lingkungan*, 10(1), 38. <https://doi.org/10.14710/jil.10.1.38-48>
- Pungus, M., Palilingan, S., & Tumimomor, F. (2019). Penurunan kadar BOD dan COD dalam limbah cair laundry menggunakan kombinasi adsorben alam sebagai media filtrasi. *Fullerene Journ. Of Chem*, 4(2), 54–60.
- Purnawan, Warisaura, A. D., & Setyaningrum, A. (2018). Pengolahan Limbah Cair Rumah Makan Dengan Sistem Kombinasi Presipitasi-Aerobic Biofilter. *Jurnal Teknologi Ttechnosciantia*, 11(1), 47–53.
- Puspawati, S. W. (2017). Alternatif Pengolahan Limbah Industri Tempe Dengan Kombinasi Metode Filtrasi Dan Fitoremediasi. *Prosiding Seminar Nasional Teknologi Pengelolaan Limbah*, 129–136.
- Putra Hidayat, A. R., Andina, V. R., Ahnaf, Widiastuti, N., & Iqbal, R. M. (2019). Synthesis, Characterization, and Performance of TiO₂-N as Filler in Polyethersulfone Membranes for Laundry Waste Treatment. *Jurnal Sains Dan Seni ITS*, 8(2). <https://doi.org/10.12962/j23373520.v8i2.49806>
- Quddus, R. (2014). Teknik Pengolahan Air Bersih dengan Sistem Saringan Pasir Lambat (Downflow) yang Bersumber dari Sungai Musi. *Jurnal Teknik Sipil Dan Lingkungan*, 2(4), 669–675.
- Rahayu, I. (2017). Pembuatan Dan Karakterisasi Membran Keramik Dengan

- Variasi Tepung Beras Sebagai Aditif Untuk Proses Mikrofiltrasi. *Jurnal Sains Dan Terapan Kimia*, 11(2), 52–60.
- Rahmah, E., Sunia, N. A., & Suhartono, J. (2022). *Membran Polyethersulfone (PES)/ CNT-TiO₂ untuk Penyisihan Humic Acid di Bendungan Jatiluhur*. 1–8.
- Rahmawati, A. (2009). Efisiensi Filter Pasir-Zeolit Dan Filter Pasir-Arang Tempurung Kelapa Dalam Rangkaian Unit Pengolahan Air Untuk Mengurangi Kandungan Mangan Dari Dalam Air. *Seminar Internasional Hasil-Hasil Penelitian*, 1–10. <https://doi.org/10.1002/0471701343.sdp29412>
- Ramadhanis, M. (2021). analisa karakteristik membran pengolahan air dari bahan polyethersulfone (PES) dengan pencampuran dioxide (TiO₂). *Tesis Magister Teknik Mesin*.
- Razi, F., Fathanah, U., & Erfiza, N. M. (2019). Fabrikasi Membran PES Ultrafiltrasi Dan Kinerjanya Pada Penyisihan Fosfolipid Minyak CPO. *Jurnal Rekayasa Kimia Dan Lingkungan*, 14(1), 89–96. <https://doi.org/10.23955/rkl.v14i1.13091>
- Reski, I. (2018). Penurunan Kadar Zat Padat Tersuspensi (TSS) pada Limbah Cair Pabrik Tahu dengan Memanfaatkan Biji Kelor Sebagai Koagulan Menggunakan Jar Test. *Program Studi D Iv Analis Kesehatan Fakultas Ilmu Keperawatan Dan Kesehatan Universitas Muhammadiyah Semarang*, 7–29. <http://repository.unimus.ac.id/id/eprint/2697>
- Rohmatullah, N. (2022). Pembuatan Membran Polyethersulfone (PES) Dengan Penguat Titanium Dioksida (Tio₂) Untuk Aplikasi Pengolahan Air. *Tesis Magister Teknik Mesin*.
- Ronny, R., & Syam, D. M. (2018). Aplikasi Teknologi Saringan Pasir Silika dan Karbon Aktif dalam Menurunkan Kadar BOD dan COD Limbah Cair Rumah Sakit Mitra Husada Makassar. *HIGIENE: Jurnal Kesehatan Lingkungan*, 4(2), 62–66.
- Rumi, S., Ashari, T. M., & Rahman, A. (2022). Penyisihan Polutan Pada Limbah Cair Penatu Menggunakan Adsorben Arang Aktif Berasal. *Jurnal Phi: Jurnal Pendidikan Fisika Dan Fisika Terapan*, 3(1), 1–8.
- Sadaruddin, & Nour, P. A. (2020). Analisis Kinerja Filter Upflow-Downflow untuk Pengolahan Limbah Cair. *Program Studi Teknik Pengairan, Fakultas Teknik. Universitas Muhammadiyah: Makassar.*, 2(1), 1–12. <http://dx.doi.org/10.1016/j.pbi.201>
- Safentry, A., & Habib, F. (2019). *Studi Teknologi Membran Mikro Untuk Air Dipusat Pengumpul Produksi (Ppp) Pertamina Ep Asset 2 Field Prabumulih*. 4, 16–26.

- Samekto, C., & Winata, E. S. (2016). *Potensi Sumber Daya Air di Indonesia 1*. 7, 1–20.
- Sari, N. W., & Fajri, M. Y. (2018). Analisis Fitokimia dan Gugus Fungsi Dari Ekstrak Etanol Pisang Goroho Merah (*Musa Acuminata* (L)). *Indonesian Journal of Biotechnology and Biodiversity*, 2(1), 30–34.
- Sasongko, E. B., Widyastuti, E., & Priyono, R. E. (2014). Kajian Kualitas Air Dan Penggunaan Sumur Gali Oleh Masyarakat Di Sekitar Sungai Kaliyasa Kabupaten Cilacap. *Jurnal Ilmu Lingkungan*, 12(2), 72. <https://doi.org/10.14710/jil.12.2.72-82>
- Simanjuntak, A. M. (2019). Pengaruh Jenis Botol Dan Lama Penjemuran Solar Water Disinfection (Sodis) Terhadap Kadar Bakteriologis Air Sumur Gali Tahun 2019. *Skripsi, Fakultas K*, Universitas Sumatera Utara.
- SNI. (2019). *Air dan air limbah – Bagian 2: Cara uji Kebutuhan Oksigen Kimiawi (Chemical Oxygen Demand/COD) dengan refluks tertutup secara spektrofotometri (SNI 6989.2:2019)*. 1–7.
- Suastuti, N. G. A. M. D. A., Suprihatin, I. E., Sulihingtyas, W. D., & Laksmiwati, A. A. A. M. (2018). Rizodegradasi Untuk Minimalisasi Bod, Cod, Kandungan Detergen Dan Lemak Limbah Cair Rumah Makan. *Jurnal Kimia*, 102. <https://doi.org/10.24843/jchem.2018.v12.i02.p02>
- Sulianto, A. A., Kurniati, E., & Hapsari, A. A. (2020). Perancangan Unit Filtrasi untuk Pengolahan Limbah Domestik Menggunakan Sistem Downflow Design of Domestic Waste Filtration Unit with Downflow System. *Jurnal Sumber Daya Alam Dan Lingkungan*, 6(3), 31–39.
- Surabaya, P. K. (2019). *Petunjuk Teknis Pengelolaan Limbah Cair Kegiatan Restoran/Rumah Makan Dinas Lingkungan Hidup Pemerintah Kota Surabaya*. 031.
- Syahputra, I. W. (2018). Perancangan Alat Penyaringan Air Limbah Botol Plastik dengan Sistem Filtrasi Bertingkat. *Artikel Jurnal Program Teknik Mesin*, 1–10. <http://dx.doi.org/10.1016/j.childyouth.2011.10.007>
- Utomo, K. P., Saziati, O., & Pramadita, S. (2018). Coco Fiber Sebagai Filter Limbah Cair Rumah Makan Cepat Saji. *Jurnal Teknologi Lingkungan Lahan Basah*, 6(2), 30. <https://doi.org/10.26418/jtllb.v6i2.31881>
- Wenten, I. ., Aryanti, & Khoiruddin. (2014). *Teknologi Membran dalam Pengolahan Limbah. Teknik Kimia Institut Teknologi Bandung*.
- Yakobus, A. M. (2016). Aplikasi Bioreaktor Membran pada Pengolahan Air Limbah dan Lindi TPA. *Teknik Kimia, ITB*.
- Yulianti, S. (2012). Pengolahan Air Menggunakan Membran Ultrafiltrasi sebagai

Upaya Mendukung Gerakan Nasional Mengatasi Krisis Air Bersih. *Jurnal Purifikasi*, 13(2), 75–87.

Zahra, L. Z., & Purwanti, I. F. (2015). Pengolahan Limbah Rumah Makan dengan Proses Biofilter Aerobik. *Jurnal Teknik ITS*, 4(1), D35–D39. <http://www.ejournal.its.ac.id/index.php/teknik/article/view/8882>

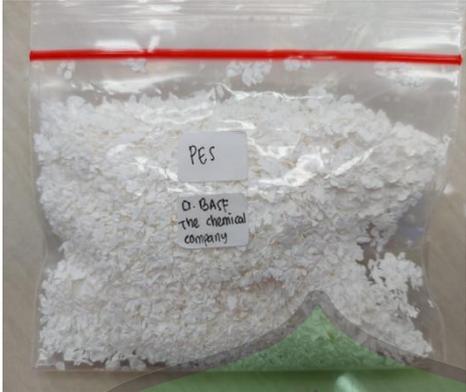
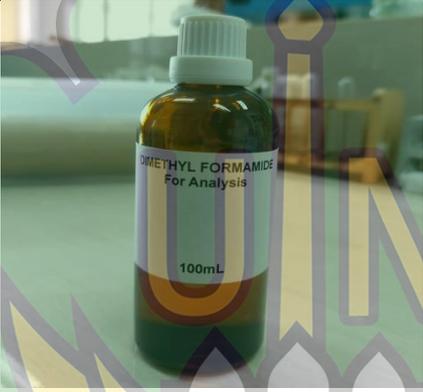


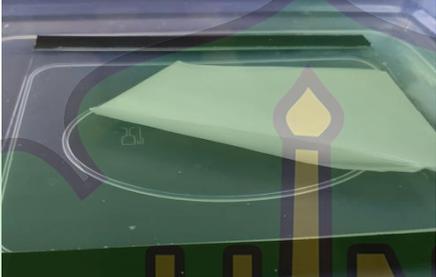
LAMPIRAN

Lampiran 1. Dokumentasi Tahapan Perlakuan dan Pengukuran

1.1 Tahapan Persiapan dan Perlakuan

No	Gambar	Keterangan
1.	 A photograph showing a pile of fine, light-colored silica sand filter media on a surface.	Pasir silika media filter saringan bertingkat
2.	 A photograph showing a pile of dark, granular activated carbon filter media on a surface.	Karbon aktif media filter saringan bertingkat
3.	 A photograph showing a pile of small, light-colored zeolite filter media on a surface.	Zeolit media filter saringan bertingkat
4.	 A photograph showing a pile of dark, irregularly shaped gravel filter media on a surface.	Kerikil media filter saringan bertingkat

5.		Bahan polimer PES membran
6.		DMF sebagai bahan pelarut membran
7.		TiO ₂ sebagai bahan aditif membran
8.		Proses pemanasan larutan dope

9.		Proses pencetakan larutan <i>casting</i>
10.		Proses membran terlepas dari plat kaca
11.		Pengambilan sampel limbah cair rumah makan
12.		Proses filtrasi saringan bertingkat
13.		Proses pemasangan membran PES pada unit ultrafiltrasi

1.2 Tahap Pengukuran Parameter

No	Gambar	Keterangan
1.		Pengukuran pH
2.		Perlakuan TSS
3.		Penimbangan kertas saring TSS
3.		Proses pencampuran larutan $K_2Cr_2O_7$ dan H_2SO_4 untuk pengecekan COD

4.		<p>Proses pemanasan sampel COD pada suhu 150°C selama 2 jam</p>
5.		<p>Proses pengecekan nilai COD menggunakan COD reaktor</p>
6.		<p>Peralatan pengecekan kekeruhan</p>
7.		<p>Pengukuran kekeruhan</p>

Lampiran 2. Perhitungan

2.1 Perhitungan Pembuatan Membran

- a) Konsentrasi membran PES 15%

$$\text{PES} = \frac{15}{100} \times 30 = 4,5 \text{ gram}$$

$$\text{TiO}_2 = \frac{1,5}{100} \times 30 = 0,45 \text{ gram}$$

$$\text{DMF} = \frac{83,5}{100} \times 30 = 25,05 \text{ mL}$$

- b) Konsentrasi membran PES 20%

$$\text{PES} = \frac{20}{100} \times 30 = 6 \text{ gram}$$

$$\text{TiO}_2 = \frac{1,5}{100} \times 30 = 0,45 \text{ gram}$$

$$\text{DMF} = \frac{78,5}{100} \times 30 = 23,55 \text{ mL}$$

2.2 Perhitungan nilai TSS

- a) Nilai TSS sebelum perlakuan

$$\begin{aligned} \text{Mg TSS per liter} &= \frac{(A-B) \times 1000}{\text{Volume contoh uji, ml}} \\ &= \frac{(0,2952 - 0,1908) \times 1000}{0,1} \\ &= 1,044 \text{ mg/L} \end{aligned}$$

- b) Nilai TSS setelah filtrasi saringan bertingkat

$$\begin{aligned} \text{Mg TSS per liter} &= \frac{(A-B) \times 1000}{\text{Volume contoh uji, ml}} \\ &= \frac{(0,2024 - 0,1908) \times 1000}{0,1} \\ &= 116 \text{ mg/L} \end{aligned}$$

- c) Nilai TSS setelah ultrafiltrasi membran PES 15%

$$\text{Mg TSS per liter} = \frac{(A-B) \times 1000}{\text{Volume contoh uji, ml}}$$

$$= \frac{(0,1931-0,1908) \times 1000}{0,1}$$

$$= 23 \text{ mg/L}$$

d) Nilai TSS setelah ultrafiltrasi membran PES 20%

$$\text{Mg TSS per liter} = \frac{(A-B) \times 1000}{\text{Volume contoh uji, ml}}$$

$$= \frac{(0,1925-0,1908) \times 1000}{0,1}$$

$$= 17 \text{ mg/L}$$

2.3 Perhitungan nilai fluks membran

a) Nilai fluks membran PES 15%

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

$$= \frac{1,125}{39,25 \times 1}$$

$$= 0,028 \text{ L/m}^2 \cdot \text{jam}$$

b) Nilai fluks membran PES 20%

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

$$= \frac{0,7}{39,25 \times 1}$$

$$= 0,018 \text{ L/m}^2 \cdot \text{jam}$$

2.4 Perhitungan Persentase Efektivitas Penurunan

a) Efektivitas penurunan parameter TSS

1. Menggunakan filtrasi saringan bertingkat

$$\% \text{ Efektivitas} = \frac{(\text{kadar awal} - \text{kadar akhir})}{(\text{kadar awal})} \times 100$$

$$= \frac{(1,044 - 116)}{1,044} \times 100$$

$$= 88,89 \%$$

2. Menggunakan metode kombinasi filtrasi saringan bertingkat-ultrafiltrasi membran PES 15%

$$\begin{aligned} \% \text{ Efektivitas} &= \frac{(\text{kadar awal} - \text{kadar akhir})}{(\text{kadar awal})} \times 100 \\ &= \frac{(1,044 - 23)}{1,044} \times 100 \\ &= 97,80 \% \end{aligned}$$

3. Menggunakan metode kombinasi filtrasi saringan bertingkat-ultrafiltrasi membran PES 20%

$$\begin{aligned} \% \text{ Efektivitas} &= \frac{(\text{kadar awal} - \text{kadar akhir})}{(\text{kadar awal})} \times 100 \\ &= \frac{(1,044 - 17)}{1,044} \times 100 \\ &= 98,37 \% \end{aligned}$$

b) Efektivitas penurunan parameter COD

1. Menggunakan filtrasi saringan bertingkat

$$\begin{aligned} \% \text{ Efektivitas} &= \frac{(\text{kadar awal} - \text{kadar akhir})}{(\text{kadar awal})} \times 100 \\ &= \frac{(590 - 103)}{590} \times 100 \\ &= 82,54 \% \end{aligned}$$

2. Menggunakan metode kombinasi filtrasi saringan bertingkat-ultrafiltrasi membran PES 15%

$$\begin{aligned} \% \text{ Efektivitas} &= \frac{(\text{kadar awal} - \text{kadar akhir})}{(\text{kadar awal})} \times 100 \\ &= \frac{(590 - 96)}{590} \times 100 \\ &= 83,73 \% \end{aligned}$$

3. Menggunakan metode kombinasi filtrasi saringan bertingkat-ultrafiltrasi membran PES 20%

$$\begin{aligned} \% \text{ Efektivitas} &= \frac{(\text{kadar awal} - \text{kadar akhir})}{(\text{kadar awal})} \times 100 \\ &= \frac{(590 - 70)}{590} \times 100 \\ &= 88,14 \% \end{aligned}$$

c) Efektivitas penurunan parameter kekeruhan

1. Menggunakan filtrasi saringan bertingkat

$$\begin{aligned} \% \text{ Efektivitas} &= \frac{(\text{kadar awal} - \text{kadar akhir})}{(\text{kadar awal})} \times 100 \\ &= \frac{(594 - 130)}{594} \times 100 \\ &= 78,11 \% \end{aligned}$$

2. Menggunakan metode kombinasi filtrasi saringan bertingkat-ultrafiltrasi membran PES 20%

$$\begin{aligned} \% \text{ Efektivitas} &= \frac{(\text{kadar awal} - \text{kadar akhir})}{(\text{kadar awal})} \times 100 \\ &= \frac{(594 - 18,6)}{594} \times 100 \\ &= 96,87 \% \end{aligned}$$

3. Menggunakan metode kombinasi filtrasi saringan bertingkat-ultrafiltrasi membran PES 20%

$$\begin{aligned} \% \text{ Efektivitas} &= \frac{(\text{kadar awal} - \text{kadar akhir})}{(\text{kadar awal})} \times 100 \\ &= \frac{(594 - 17,65)}{594} \times 100 \\ &= 97,03 \% \end{aligned}$$