

**SOLUSI UNTUK PENCEMARAN MIKROPLASTIK –
PENYISIHAN MIKROPLASTIK DARI AIR LIMBAH
DENGAN TEKNOLOGI PENGOLAHAN AIR LIMBAH LEBIH
LANJUT**

TUGAS AKHIR TERJEMAHAN ARTIKEL JURNAL ILMIAH

Diajukan Oleh:

**CUT JULIANTI
NIM. 140702012
Mahasiswa Fakultas Sains dan Teknologi
Program Studi Teknik Lingkungan**



**FAKULTAS SAINS DAN TEKNOLOGI
UNIVERSITAS ISLAM NEGERI AR-RANIRY
BANDA ACEH
2020 M/ 1442 H**

LEMBAR PERSETUJUAN

SOLUSI UNTUK PENCEMARAN MIKROPLASTIK –PENYISIHAN MIKROPLASTIK DARI AIR LIMBAH DENGAN TEKNOLOGI PENGOLAHAN AIR LIMBAH LEBIH LANJUT

TUGAS AKHIR TERJEMAHAN ARTIKEL JURNAL ILMIAH

Sesuai dengan Keputusan Rektor Universitas Islam Negeri Ar-Raniry Banda Aceh
Nomor 14 tahun 2020 tentang Pedoman Pelaksanaan Penyelesaian Tugas Akhir
Mahasiswa Strata satu (S-1) Universitas Islam Negeri Ar-Raniry Banda Aceh
pada Masa Tanggap Darurat *Coronavirus Disease* 2019 (Covid-19)

Diajukan kepada Fakultas Sains dan Teknologi
Universitas Islam Negeri Ar-Raniry Banda Aceh
Sebagai Beban Studi Memperoleh Gelar Sarjana dalam Prodi Teknik Lingkungan

Oleh:

CUT JULIANTI
NIM. 140702012

Mahasiswa Fakultas Sains dan Teknologi
Program Studi Teknik Lingkungan

جامعة الرانيري

A R - R A N I R Y

Disetujui Oleh:

Pembimbing I,

Pembimbing II,

Yeggi Darnas, M.T.
NIDN. 2020067905

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

LEMBAR PENGESAHAN

SOLUSI UNTUK PENCEMARAN MIKROPLASTIK – PENYISIHAN MIKROPLASTIK DARI AIR LIMBAH DENGAN TEKNOLOGI PENGOLAHAN AIR LIMBAH LEBIH LANJUT

TUGAS AKHIR TERJEMAHAN ARTIKEL JURNAL ILMIAH

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

Pada hari/tanggal: Sabtu, 26 Agustus 2020
7 Muharam 1442

Panitia Ujian Munaqasyah Tugas Akhir Terjemahan Artikel Jurnal

Ketua,

Sekretaris,


Yeggi Darnas, M.T.
NIDN. 2020067905


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

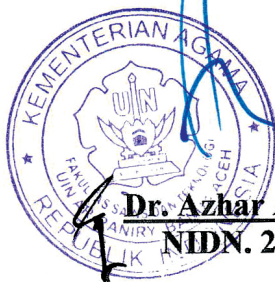
Penguji I,

Penguji II,


Aulia Rohendi, M.Sc.
NIDN. 2010048202


Adian Arista Anas, M.Sc
NIDN. 2022100701

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



Dr. Azhar Amsal, M.Pd.
NIDN. 2001066802

KATA PENGANTAR



Segala puji bagi Allah Swt yang telah memberikan rahmat dan hidayah-Nya kepada penulis sehingga akhirnya dapat menyelesaikan Tugas Akhir pengganti Skripsi yaitu menerjemahkan *Journal of Water Research* dengan judul Artikel Ilmiah “*Solutions to microplastic pollution - Removal of microplastics from wastewater effluent with advanced wastewater treatment technologies*”. Tugas Akhir ini merupakan salah satu syarat untuk memperoleh Gelar Sarjana pada Program Studi Strata-1 Teknik Lingkungan, Fakultas Sains dan Teknologi, Universitas Islam Negeri Ar-Raniry Banda Aceh.

Dalam menyelesaikan Tugas Akhir ini, penulis mengalami kendala karena pandemi Virus Corona atau Covid-19. Namun, berdasarkan keputusan Rektor UIN Ar-Raniry No. 14 Tahun 2020 tentang pedoman pelaksanaan penyelesaian Tugas Akhir mahasiswa Strata satu (S-1) Universitas Islam Negeri Ar-Raniry Banda Aceh pada masa tanggap darurat Covid-19. Maka penulis mengambil pilihan untuk menerjemahkan Artikel Ilmiah.

Dalam penyelesaian Tugas Akhir ini penulis menerima banyak sekali bantuan, dukungan, kritik, saran dan doa, sehingga Tugas Akhir ini berhasil diselesaikan. Oleh karena itu, dengan penuh kerendahan hati, pada kesempatan ini penulis mengucapkan terima kasih kepada:

1. Ibu Dr. Eng. Nur Aida, M.Si., selaku Ketua Program Studi Teknik Lingkungan, Fakultas Sains dan Teknologi, Universitas Islam Negeri Ar-Raniry.
2. Ibu Yeggi Darnas, M.T., selaku selaku Sekretaris Program Studi Teknik Lingkungan, Fakultas Sains dan Teknologi, Universitas Islam Negeri Ar-Raniry, dan juga selaku Pembimbing Tugas Akhir yang telah berkenan memberikan tambahan ilmu serta solusi pada setiap kesulitan dalam penulisan Tugas Akhir.

3. Bapak Aulia Rohendi, M.Sc., selaku dosen penguji I yang telah memberikan masukan dalam tugas akhir penulis
4. Bapak Adian Arista Anas, M.Sc., selaku dosen penguji II yang telah memberikan masukan dalam tugas akhir penulis
5. Seluruh Dosen Program Studi Teknik Lingkungan yang telah memotivasi dan mengajari penulis tentang hebatnya ilmu teknik lingkungan
6. Kedua Orang Tua Ayahanda T. Mardian Adnan dan Ibunda Nurjasmaniar yang tanpa lelah mendukung dan memberi doa bagi penulis sehingga memudahkan penulis dalam segala hal
7. Kedua Kakak Cut Nela Agustia, Cut Sukma Keumala dan Adik Teuku Muhammad Al-Farizi yang senantiasa mendoakan penulis
8. Teuku Raja Raihan Akbar, Teuku Ryven Trias Kembara, M. Akbar Ardiansyah Hasibuan, Geubrina Rizki, Ilhamullah, dan seluruh teman-teman Teknik Lingkungan khususnya angkatan 2014
9. Cut Nadya, Desi Seruni, dan Ruhul Seroja teman seperjuangan yang telah membantu penulis dalam mengerjakan Tugas Akhir ini

Akhir kata penulis berharap Allah membalas segala kebaikan semua pihak yang telah membantu penulis menyelesaikan Tugas Akhir ini dengan limpahan berkah dan rahmat-Nya. Semoga penulisan ini bermanfaat untuk pengembangan keilmuan dan pengetahuan di masa depan.

Banda Aceh, 22 Agustus 2020

Penulis,

Cut Julianti
NIM. 140702012

DAFTAR ISI

LEMBAR PERSETUJUAN	i
LEMBAR PENGESAHAN	ii
LEMBAR PERNYATAAN KEASLIAN PENERJEMAHAN ARTIKEL	
JURNAL ILMIAH.....	iii
KATA PENGANTAR.....	iv
DAFTAR ISI.....	vi
DAFTAR TABEL	viii
DAFTAR GAMBAR.....	ix
BAB I ARTIKEL ASLI: <i>Solutions to Microplastic Pollution - Removal of Microplastics from Wastewater Effluent With Advanced Wastewater Treatment Technologies</i>	1
1.1 <i>Introduction</i>	1
1.2 <i>Material and Methods</i>	3
1.2.1 <i>Description of The Selected WWTPs and Advanced Wastewater Treatment Technologies</i>	3
1.2.2 <i>Sample Collection</i>	5
1.2.3 <i>Wastewater Characteristics of The Selected WWTPs</i>	7
1.2.4 <i>Characterization of Microparticles</i>	9
1.2.5 <i>Contamination Mitigation</i>	9
1.3 <i>Result and Discussion</i>	10
1.3.1 <i>Removal of MPs from Effluent with Advanced Technologies</i>	10
1.3.2 <i>The Effect of Size and Shape of The MPs on Their Removal in Different Treatment Technologies</i>	14
1.3.3 <i>FTIR Analysis</i>	15
1.4 <i>Conclusions</i>	18
<i>References</i>	22

BAB II TERJEMAHAN ARTIKEL: Solusi untuk Pencemaran Mikroplastik – Penyisihan Mikroplastik dari Air Limbah dengan Teknologi Pengolahan Air Limbah Lebih Lanjut	25
2.1 Pendahuluan.....	26
2.2 Bahan dan Metode	27
2.2.1 Deskripsi IPAL yang Terpilih dan Teknologi Pengolahan Air Limbah Lanjutan.....	27
2.2.2 Pengambilan Sampel.....	29
2.2.3 Karakteristik Air Limbah dari IPAL yang Terpilih	31
2.2.4 Karakteristik Mikropartikel.....	33
2.2.5 Mitigasi Kontaminasi.....	33
2.3 Hasil dan Pembahasan	34
2.3.1 Penyisihan Mikroplastik dari Limbah dengan Teknologi Lanjutan ...	34
2.3.2 Pengaruh Ukuran dan Bentuk Mikroplastik pada Penyisihannya dalam Teknologi Pengolahan yang Berbeda.....	38
2.3.3 Analisis FTIR.....	39
2.4 Kesimpulan.....	43
BAB III PEMBAHASAN	47
3.1 Data Jurnal dan Data Artikel	47
3.2 <i>State of The Art</i>	48
3.3 Kelebihan/Keunggulan dari Penelitian.....	49
3.4 Kelemahan/Keterbatasan dari Penelitian	49
3.5 Dampak Penelitian.....	49
BAB IV KESIMPULAN DAN SARAN	50
4.1 Kesimpulan.....	50
4.2 Saran.....	50
DAFTAR PUSTAKA.....	51
DAFTAR RIWAYAT HIDUP	52

DAFTAR TABEL

Table 1.1	Sample volumes (l = liters) before and after the treatments for each filter size. DF 10 = Discfilter with pore size 10 μm , DF 20 = Discfilter with pore size 20 μm , RSF = Rapid Sand filters, DAF = Dissolved Air Flotation and MBR = Membrane Bioreactor.....	6
Table 1.2	The 24-h composite sample volumes (l = liters) before and after the treatments for each filter size. RSF = Rapid Sand Filters, DAF = Dissolved Air Flotation and MBR = Membrane Bioreactor.....	7
Table 1.3	Average wastewater characteristics before and after the treatments. DF 10 = Discfilter with pore size 10 μm , DF 20 = Discfilter with pore size 20 μm , RSF = Rapid Sand Filters, DAF = Dissolved Air Flotation and MBR = Membrane Bioreactor	8
Table 1.4	The average microplastic concentrations before and after the treatments. DF 10 = Discfilter with pore size 10 μm , DF 20 = Discfilter with pore size 20 μm , RSF = Rapid Sand Filters, DAF = Dissolved Air Flotation and MBR = Membrane Bioreactor. Data is given in number of microplastics per liter of effluent. Figures represent mean values $\pm$ SE, n = 3.....	11
Table 1.5	The average microplastic concentrations before and after the treatments according to 24-h composite samples including Rapid Sand Filters (RSF), Dissolved Air Flotation (DAF) and Membrane Bioreactor (MBR). Data is given in number of microplastics per liter of effluent	13
Table 1.6	The amount of different polymers and their percentages before and after the advanced wastewater treatments. DF 10 = Discfilter with pore size 10 μm , DF 20 = Discfilter with pore size 20 μm , RSF = Rapid Sand Filters, DAF = Dissolved Air Flotation and MBR = Membrane Bioreactor	19

Tabel 2.1	Volume sampel (l = liter) sebelum dan sesudah pengolahan untuk setiap ukuran filter. DF 10 = Diskfilter dengan ukuran pori 10 µm, DF 20 = Diskfilter dengan ukuran pori 20 µm, RSF = Saringan Pasir Cepat, DAF = Flotasi Udara Terlarut dan MBR = Bioreaktor Membran	30
Tabel 2.2	Volume sampel komposit 24 jam (L = liter) sebelum dan sesudah pengolahan untuk setiap ukuran filter. RSF = Saringan Pasir Cepat, DAF = Flotasi Udara Terlarut dan MBR = Bioreaktor Membran	31
Tabel 2.3	Karakteristik air limbah rata-rata sebelum dan sesudah pengolahan. DF 10 = Diskfilter dengan ukuran pori 10 µm, DF 20 = Diskfilter dengan ukuran pori 20 µm, RSF = Saringan Pasir Cepat, DAF = Flotasi Udara Terlarut dan MBR = Bioreaktor Membran	32
Tabel 2.4	Konsentrasi mikroplastik rata-rata sebelum dan sesudah pengolahan. DF 10 = Diskfilter dengan ukuran pori 10 µm, DF 20 = Diskfilter dengan ukuran pori 20 µm, RSF = Saringan Pasir Cepat, DAF = Flotasi Udara Terlarut dan MBR = Bioreaktor Membran. Data diberikan dalam jumlah limbah mikroplastik perliter. Angka mewakili nilai rata-rata ± SE, n = 3	35
Tabel 2.5	Konsentrasi mikroplastik rata-rata sebelum dan sesudah pengolahan sesuai dengan sampel komposit 24 jam meliputi Saringan Pasir Cepat (RSF), Flotasi Udara Terlarut (DAF) dan Bioreaktor Membran (MBR). Data diberikan dalam jumlah limbah mikroplastik perliter	37
Tabel 2.6	Jumlah polimer yang berbeda dan persentasenya sebelum dan sesudah pengolahan air limbah lanjutan. DF 10 = Diskfilter dengan ukuran pori 10 µm, DF 20 = Diskfilter dengan ukuran pori 20 µm, RSF = Saringan Pasir Cepat, DAF = Flotasi Udara Terlarut dan MBR = Bioreaktor Membran	44
Tabel 3.1	Identitas Jurnal Ilmiah	47
Tabel 3.2	Identitas Artikel	47

DAFTAR GAMBAR

Figure 1.1	Concentration of MPs in each size fraction (20-100 μm , 100-300 μm , >300 μm) before and after the treatments. DF10 = Discfilter with pore size 10 μm , DF20 = Discfilter with pore size 20 μm , RSF = Rapid Sand Filters, DAF = Dissolved Air Flotation and MBR = Membrane Bioreactor	14
Figure 1.2	Concentration of MPs in the different MP shape categories before and after the treatments. DF10 = Discfilter with pore size 10 μm , DF20 = Discfilter with pore size 20 μm , RSF = Rapid Sand Filters, DAF = Dissolved Air Flotation and MBR = Membrane Bioreactor.....	16
Figure 1.3	A and B: primary MPs. Microbeads derived from personal care products. C and D: Secondary MPs. Fragments from break-down of larger plastics and synthetic textile fibers.....	20
Gambar 2.1	Konsentrasi MPs pada setiap fraksi ukuran (20-100 μm , 100-300 μm , > 300 μm) sebelum dan sesudah pengolahan. DF10 = Diskfilter dengan ukuran pori 10 μm , DF20 = Diskfilter dengan ukuran pori 20 μm , RSF = Saringan Pasir Cepat, DAF = Flotasi Udara Terlarut dan MBR = Bioreaktor Membran	39
Gambar 2.2	Konsentrasi MP dalam kategori bentuk MP yang berbeda sebelum dan sesudah pengolahan. DF10 = Diskfilter dengan ukuran pori 10 μm , DF20 = Diskfilter dengan ukuran pori 20 μm , RSF = Saringan Pasir Cepat, DAF = Flotasi Udara Terlarut dan MBR = Bioreaktor Membran.....	41
Gambar 2.3	A dan B: MP utama. Microbeads berasal dari produk perawatan pribadi. C dan D: MP Sekunder. Fragmen dari pemecahan plastik yang lebih besar dan serat tekstil sintetis.....	45

BAB I

ARTIKEL ASLI

Solutions to Microplastic Pollution - Removal of Microplastics from Wastewater Effluent with Advanced Wastewater Treatment Technologies

Julia Talvitie ^a, Anna Mikola ^a, Arto Koistinen ^b, Outi Setälä ^c.

^a Department of Built Environment, Aalto University, PO Box 15200, FI-00076, Aalto, Finland

^b University of Eastern Finland Sib Labs, PO Box 1627, FI-70211, Kuopio, Finland.

^c Finnish Environment Institute, Marine Research Center, PO Box 140, FI-00251 Helsinki, Finland

ABSTRACT

Conventional wastewater treatment with primary and secondary treatment processes efficiently remove microplastics (MPs) from the wastewater. Despite the efficient removal, final effluents can act as entrance route of MPs, given the large volumes constantly discharged into the aquatic environments. This study investigated the removal of MPs from effluent in four different municipal wastewater treatment plants utilizing different advanced final-stage treatment technologies. The study included membrane bioreactor treating primary effluent and different tertiary treatment technologies (discfilter, rapid sand filtration and dissolved air flotation) treating secondary effluent. The MBR removed 99.9% of MPs during the treatment (from 6.9 to 0.005 MP L⁻¹), rapid sand filter 97% (from 0.7 to 0.02 MP L⁻¹), dissolved air flotation 95% (from 2.0 to 0.1 MP L⁻¹) and discfilter 40-98.5% (from 0.5 - 2.0 to 0.03 - 0.3 MP L⁻¹) of the MPs during the treatment. Our study shows that with advanced final-stage wastewater treatment technologies WWTPs can substantially reduce the MP pollution discharged from wastewater treatment plants into the aquatic environments.

1.1 Introduction

Microplastics (MPs) are defined as plastic particles <5 mm. Primary MPs are intentionally manufactured in small sizes like virgin resin pellets, microbeads in personal care products, industrial scrubbers used in abrasive cleaning agents

and plastic powders used for moulding, while secondary microplastics result from the fragmentation of larger plastic particles. Fragmentation can occur during the use of materials like textiles, paint and tyres, or once the plastics have been released into the environment. Both primary and secondary MPs are found from environmental samples (GESAMP, 2015). MPs have the potential to adsorb persistent organic pollutants (Rios et al., 2010; Chua et al., 2014) and heavy metals (Rochman et al., 2014) from the surrounding water environment. Further, variety of plastic additives, like flame retardants and plasticizers, are included in the plastics during manufacturing. It has been proposed that if MPs with their micropollutants enter food webs through digestion by biota, this may lead to ecosystem and human health impacts (Browne et al., 2013; Rochman et al., 2015; Miranda and de Carvalho-Souza, 2016).

Wastewater treatment plants (WWTPs) can act as a barrier but also as entrance routes for microplastics to aquatic environment. Conventional wastewater treatment with primary and secondary treatment processes can remove MPs from the wastewater up to 99% and most of the MPs are removed already during pretreatment phases (Carr et al., 2016; Murphy et al., 2016; Talvitie et al., 2017). Despite of the high reduction ability, conventional WWTPs may actually be a significant source of MPs given the large volumes of effluents that are discharged (Mason et al., 2016; Murphy et al., 2016; Mintenig et al., 2017; Talvitie et al., 2017).

During the last decades wastewater treatment has continuously been required to increase the quality of the final effluents. However, the technologies to improve the quality of the final effluent are not specifically designed to remove microplastics and do not necessarily remove MPs from the effluent (Mason et al., 2016; Talvitie et al., 2017). Few studies suggest, however, that with some advanced final-stage wastewater treatment technologies the removal of the MPs from effluents can be further improved (Carr et al., 2016; Mintenig et al., 2017; Ziajahromi et al., 2017).

The aim of this study was to examine the efficiency of different advanced final-stage treatment technologies to remove microplastics from effluent. This study includes tertiary treatments; discfilter (DF), rapid sand filtration (RSF) and dissolved air flotation (DAF) and membrane bioreactor (MBR). In addition, we examined which MP types (size and shape) were removed and which were left in the final effluent after the treatments. The study was repeated with 24-h automated composite samplers to include in-day variation to examination of MP removal and concentration. We performed comprehensive FTIR analyses to all and whole samples included in the study. In the end, we estimated the proportion of primary and secondary MPs in final effluents.

1.2 Materials and Methods

1.2.1 Description of The Selected WWTPs and Advanced Wastewater Treatment Technologies

The most commonly used advanced final treatment stage technologies were selected for our study. The tertiary treatments included different filtering (sand and cloth) and flotation techniques. Also, membrane bioreactor was selected.

Micro-screen filtration with discfilters (DF) was examined in Viikinmaki WWTP located at Helsinki, a metropolitan area of Finland. Viikinmaki WWTP process is based on primary clarification, conventional activated sludge (CAS) process and a tertiary denitrifying biological filter (BAF). More detailed characteristics of each WWTPs included in this study is given in supplementary data (SD. Table S1). The pilot-scale discfilter (Hydrotech HSF 1702 -1F) consists of two discs composing each of 24 filter panels. The pilot unit was so-called inside-out system where the influent water is introduced inside the filter panels. The particle removal is based on physical retention in filters and sludge cake formation inside the filter panels. The sludge cake formation decelerates the filtering, causing water level rise inside the cylinder. When water meets the level sensor, backwash is initiated. Backwash is performed with high pressure (in this case 8 bars) to rinse off the sludge cake. The particle and nutrient removal can

further be enhanced with coagulants. In this study iron based coagulant and cationic polymer were used with dosages of 2 mg/L and 1 mg/L, respectively. Hydraulic retention time (HRT) in the pilot was 4 min and flow $\sim 20 \text{ m}^3/\text{h}$. The overall filtration area was 5.76 m^2 and pore size of the filters was either 10 or $20 \mu\text{m}$ (Rossi, 2014).

Rapid (gravity) sand filters (RSF) as full-scale tertiary treatment was examined in Kakolanmaki WWTP (Turku Region Waste Water Treatment Plant), city of Turku, Southern Finland. In RSF, the wastewater is filtered through a layer of sand. The sand filter composed of 1 m of gravel with grain size of 3-5 mm and 0.5 m of quartz with grain size 0.1-0.5 mm. Apart from physical separation removing suspended solids, adhesion by microbes removes nutrients and microbes. Before the sand filter the process is based on CAS method.

Dissolved Air Flotation (DAF) as full-scale tertiary treatment was examined at Paroinen WWTP (Hameenlinna Region Water Supply and Sewerage Ltd) located in city of Hameenlinna, Southern Finland. In DAF, water is saturated with air at high pressure and then pumped to a flotation tank at 1 atm, forming dispersed water. The released air bubbles in dispersed water adhere to the suspended solids causing them to float to the surface, from where it is removed by skimming. Before the flotation, flocculation chemical Polyaluminium Chloride (PAX) is added to the wastewater with dosage of 40 mg/L to enhance flocculation. Before the DAF, the process is based on CAS process.

Membrane bioreactor (MBR) pilot unit was examined at Kenkaveronniemi WWTP, located in city of Mikkeli, South-East of Finland. Kenkaveronniemi WWTP is generally based on primary clarification, CAS process and secondary clarifier effluent on hygienization using peracetic acid solution. The MBR pilot included Submerged Membrane Unit (SMU) and ultrafiltration (UF) process (LF/KUBOTA SMUTM). The membrane system consisted of 20 flatsheet membrane cartridges installed inside the filtration tank. During the filtration, the water is forced through membranes under negative pressure created by pumps and collected to the separate tank. MBRs are the combination of membrane filtrations

processes with suspended growth biological reactors. This combination treats primary effluent containing suspended solids as well as dissolved organic matter and nutrients. Hence the MBR technology replaces secondary clarifiers in CAS systems. In the MBR pilot unit the effective membrane area was 8 m² and the nominal pore size of the membranes 0.4 µm. HRT values varied from 20 to 100 h and the flow between 40 and 90 l/h (Gurung, 2014).

1.2.2 Sample Collection

Sampling at the four different WWTPs took place between April 2014 and August 2015. The actual sampling dates and times are given in supplementary data (SD. Table S2.). Samples with three replicates were collected before and after the treatments. The replicates consisted of three independent water samples. A custom made filtering device with in-situ fractionation was used (Talvitie et al., 2015). The mesh-sizes of the filters were 300, 100 and 20 µm, giving particle size fractions of >300 µm, 100-300 µm and 20-100 µm. Sampling full-scale treatments (RSF, DAF) was performed by pumping water (depth ~ 1 m) from the wastewater stream into the filtering device with an electric pump (Biltema art.17-953). In pilot-scale treatments (discfilters, MBR), the samples were collected from the taps designed for sampling, into the filter device. In addition, samples after the CAS in Kenkaveronniemi WWTP were collected to see the possible improved removal capacity provided by MBR method compared to CAS. Water sample volumes were measured with a flow meter (Gardena Water Smart Flow Meter) and varied with the wastewater quality and filter size (Table 1). The sampling was stopped before the filters were clogged with organic matter. After the sampling, the filters were collected to petri dishes and stored in room temperature.

Table 1.1 Sample volumes (l = liters) before and after the treatments for each filter size. DF 10 = Discfilter with pore size 10 μm , DF 20 = Discfilter with pore size 20 μm , RSF = Rapid Sand Filters, DAF = Dissolved Air Flotation and MBR = Membrane Bioreactor.

	DF 10		DF 20		RSF		DAF		MBR		After CAS
	Before	After	Before	After	Before	After	Before	After	Before	After	
300 μm	50 L	6-50 L	17-50 L	50 L	650 L	1000 L	333 L	1000 L	140 L	140 L	500 L
100 μm	50 L	6-50 L	1-17 L	50 L	50 L	1000 L	50 L	300 L	4 L	140 L	50 L
20 μm	2 L	2 L	0.5-2 L	2 L	4 L	70 L	2 L	2 L	0.4 L	140 L	4 L



Additional sampling was carried out with automated 24-h composite samplers. Composite samplers in each WWTPs took a sample proportionally and discretely at an interval of 15 min over a 24-h period before and after the treatment unit (Table 2). The samplers collected wastewater into plastic containers located in closed refrigerators. The discfilter was not included in the composite sampling as the WWTP was not able to provide the equipment.

Table 1.2 The 24-h composite sample volumes (l = liters) before and after the treatments for each filter size. RSF = Rapid Sand Filters, DAF = Dissolved Air Flotation and MBR = Membrane Bioreactor.

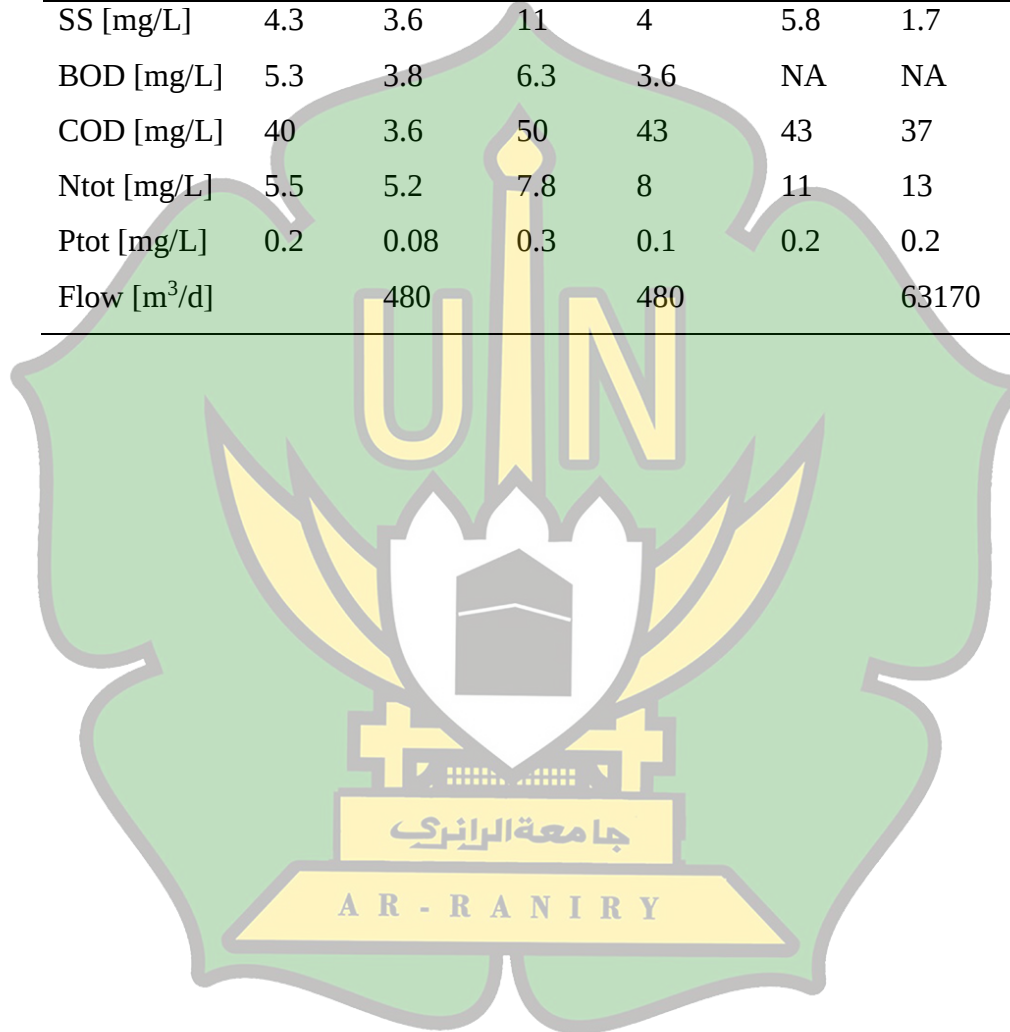
	RSF		DAF		MBR		After CAS
	Before	After	Before	After	Before	After	
300 μm	27.4 L	25.5 L	15.8 L	16.1 L	5.8 L	6.1 L	4.2 L
100 μm	27.4 L	25.5 L	15.8 L	16.1 L	5.8 L	6.1 L	4.2 L
20 μm	4.0 L	25.5 L	4.0 L	16.1 L	0.4 L	6.1 L	4.2 L

1.2.3 Wastewater characteristics of the selected WWTPs

The main wastewater characteristics of the MP sampling sites are summarized in Table 3. The results were obtained from the analysis of 24-h composite samples collected for the weekly monitoring programs of plants. The samples were taken around the same time as those for the MP study.

Table 1.3 Average wastewater characteristics before and after the treatments. DF 10 = Discfilter with pore size 10 μm , DF 20 = Discfilter with pore size 20 μm , RSF = Rapid Sand Filters, DAF = Dissolved Air Flotation and MBR = Membrane Bioreactor.

Parameter	DF 10		DF 20		RSF		DAF		MBR		CAS
	Before	After	Before	After	Before	After	Before	After	Before	After	After
SS [mg/L]	4.3	3.6	11	4	5.8	1.7	15	5	40	<1	6
BOD [mg/L]	5.3	3.8	6.3	3.6	NA	NA	NA	1.6	NA	NA	NA
COD [mg/L]	40	3.6	50	43	43	37	NA	33.1	300	31	35
N _{tot} [mg/L]	5.5	5.2	7.8	8	11	13	NA	21.7	69	43	21
P _{tot} [mg/L]	0.2	0.08	0.3	0.1	0.2	0.2	0.3	0.1	6.4	1.3	0.2
Flow [m ³ /d]		480		480		63170		16855		2.2	8904



1.2.4 Characterization of microparticles

All samples were visually examined using a stereo microscope (model EZ4 HD; Leica Microsystems GmbH, Wetzlar, Germany), with an integrated HD camera. All textile fibers and particles suspected as plastics were counted and the particles further classified as fragments, flakes, films and spheres, and their coloration documented. Particles with cellular structures and soft, easily disintegrating (organic) materials were excluded from the further examination. Chemical composition of the pre-selected particles were analyzed with imaging FTIR spectroscopy (Spectrum Spotlight 300, PerkinElmer, Waltham, MA, USA). The particles were individually picked from the samples, rinsed with distilled water and placed onto ZnSe windows and let to dry for approximately one hour, after which each window was photographed and analyzed with the FTIR. The FTIR spectra were recorded in transmittance mode, in wavelength region of 700-4000 cm^{-1} at 4 cm^{-1} resolution and with 15 scans. To analyze the spectra, the Thermo Scientific™ Hummel Polymer and Additives FT-IR Spectral Library was used. Fibers were analyzed with textile fiber library previously described in Talvitie et al. (2017). The characterization technique allowed to include all particles size $>20 \mu\text{m}$.

1.2.5 Contamination mitigation

To minimize contamination, all equipment included in the sampling protocol were rinsed thoroughly with tap water right before the use. Filters were checked with microscope to ensure sufficient rinsing. After sampling the filters were placed in petri dishes. Avoiding MP contamination is challenging and therefore three independent controls were made by filtering 100 L of tap water. The tap water was filtered straight from the tap into the filter device and filters treated as actual samples. The pump was not included in the controls. For the 24-h composite sampling, the controls samples were made by collecting tap water to plastic containers and containers were left inside the sampler (closed refrigerator) for 24-h period. After the 24-h period, the water was filtered and treated as actual composite samples (Talvitie et al., 2017).

1.3 Results and discussion

1.3.1 Removal of MPs from effluent with advanced technologies

All advanced final treatment stage technologies; discfilters (DF), rapid sand filters (RSF), dissolved air flotation (DAF) and membrane bioreactor (MBR) removed > 95% of microplastics (>20 μm) from effluent (Table 4).

With the MBR technology, MP concentration decreased from 6.9 (± 1.0) to 0.005 (± 0.004) MP L⁻¹. The MBR treats primary clarified wastewater with much higher MP concentration compared to secondary effluent, giving higher removal percentage than tertiary treatments (Table 4). However, MBR gave also the lowest MP concentration of the final effluent, which indicates, that MBR is the most efficient technology in this study to remove MPs from wastewater. The result is expected as the MBR filters had the smallest pore size (0.4 μm) of for all the studied filters.

The detection of only two MPs (both synthetic textile fibers) after the MBR could derive from occasional breakthroughs of filters, from small leaks between seals in the unit, or from airborne contamination in open tanks. Without the pilot-scale MBR, the MP concentration in secondary effluent in Kenkaveronniemi WWTP was 0.2 (± 0.06) MP L⁻¹. Hence, the advanced MBR technology releases ~2.5% of the MPs compared to CAS.

With RSF, MP concentration decreased from 0.7 (± 0.1) to 0.02 (± 0.007) MP L⁻¹. During RSF, MPs are caught between the sand grains or adhered to the surface of the sand grains. The adhesion could be possibly further improved with coagulant, however, in Kakolanmaki WWTP no coagulant additions were used. The MP concentration also decreased clearly in DAF treatment from 2.0 (± 0.07) to 0.1 (± 0.04) MP L⁻¹. During the flotation, microplastics are transported to the surface of the flocs due to their buoyancy. The floating matter is then removed by skimming device. As flotation is particularly designed to remove low-density particles, it can be expected to efficiently remove plastics, at least those that have lower density than water.

Table 1.4 The average microplastic concentrations before and after the treatments. DF 10 = Discfilter with pore size 10 μm , DF 20 = Discfilter with pore size 20 μm , RSF = Rapid Sand Filters, DAF = Dissolved Air Flotation and MBR = Membrane Bioreactor. Data is given in number of microplastics per liter of effluent. Figures represent mean values $\pm$ SE, $n = 3$.

Treatment	Effluent Type	Before (MP/L ⁻¹)	After (MP/L ⁻¹)	Removal (%)
DF 1	Secondary	0.5 (± 0.2)	0.3 (± 0.1)	40.0
DF 2	Secondary	2.0 (± 1.3)	0.03 (± 0.01)	98.5
RSF	Secondary	0.7 (± 0.1)	0.02 (± 0.007)	97.1
DAF	Secondary	2.0 (± 0.07)	0.1 (± 0.04)	95.0
MBR	Primary	6.9 (± 1.0)	0.005 (± 0.004)	99.9

The DF also decreased the MP concentration from 0.5 (± 0.2) to 0.3 (± 0.1) with 10 μm and from 2.0 (± 1.3) to 0.03 (± 0.01) with 20 μm filter pore size. However, the variation between the replicates were so high in both cases, that the results should be handled with care. Additionally, pore size 10 μm gave much smaller MP removal capacity compared to 20 μm , although smaller pore size was expected to remove MPs more efficiently. Due to the disturbances in the earlier treatment processes in the WWTP, the quality of the plant effluent (pilot influent) varied during the sampling period. During the DF 10 μm sampling, the varying quality of the pilot influent led to excessive polymer additions, which in turn caused the volume differences between the replicates after the treatment (Table 1.), as sticky polymer flocs blocked the filters quickly. The excessive polymer addition also resulted in membrane fouling in the discfilter pilot, which led to accelerated backwash frequency. During the high-pressure backwash, part of the MPs probably passed the filter cloth to the final effluent, lowering the removal efficiency. During the DF 20 μm sampling, probably the high SS concentration (Table 3.) led to volume differences between the replicates before the treatment (Table 1.)

The controls with tap water revealed no MP contamination of the samples. However, the control samples were processed without pumping, as they were filtered straight from the tap. Pumping can possibly give slight background level to those samples where pump was used (Mintenig et al., 2017).

Our finding supports previous studies on the efficient removal of MPs in tertiary phases. Carr et al. (2016) reported MP ($>45\text{ }\mu\text{m}$) free effluent after tertiary gravity filters. Mintenig et al. (2017) reported the tertiary post-filtration unit (pile cloth media filtration, MECANA) to remove MPs $> 500\text{ }\mu\text{m}$ completely and 95% of the MPs 20-500 μm (concentration decreased from 0.2 to 0.01 MP L⁻¹). Additionally, Ziajahromi et al. (2017) found 0.28 MP L⁻¹ after tertiary ultrafiltration and 0.21 MP L⁻¹ after reverse osmosis. However, as mentioned in the introduction, wastewater treatment technologies are not specifically designed to remove microplastics, and not all of them necessarily remove MPs. This can be seen our previous study (Talvitie et al., 2017), where the tertiary treatment, biologically active filter (BAF), didn't decrease MP concentration and in Mason et al. (2016) where clear correlation between tertiary filtration and reduced microparticle discharges could not be detected.

Also according to our 24-h composite sampling RSF, DAF and MBR removed MPs $>20\text{ }\mu\text{m}$ from wastewater (Table 5). However, the actual MP concentrations and therefore the removal capacities differ from results gained with large-volume grab sampling. The reasons for differences are probably low sample volumes, low MP concentrations and airborne contamination. When the MP concentration is very low, composite samples might give false zero results, as the sample volumes are so small (in this study varying from 4.2 to 27.4 L). This can be seen from RSF results where no MPs after the treatment were detected (Table 5).

In our previous study (Talvitie et al., 2017), the background level (contamination) in composite samples comprised over 30% of the actual microlitter results, meaning that the method is sensitive to contamination. In this study, the WWTP personnel were asked to take 24-h composite samples with their

own monitoring equipment. The personnel were instructed to thoroughly rinse equipment with tap water and keep them covered in all times. Despite the effort, the contamination probably explains the higher MP concentration values after the DAF and MBR treatments with composite samples (Table 5) compared to large-volume grab samples (Table 4).

Table 1.5 The average microplastic concentrations before and after the treatments according to 24-h composite samples including Rapid Sand Filters (RSF), Dissolved Air Flotation (DAF) and Membrane Bioreactor (MBR). Data is given in number of microplastics per liter of effluent.

Treatment	Effluent Type	Before (MP/L ⁻¹)	After (MP/L ⁻¹)	Removal
RSF	Secondary	0.4	<0.04	>90
DAF	Secondary	2.3	1.2	48
MBR	Primary	3.2	0.2 (After CAS 0.5)	94

Many WWTPs include automated composite samplers for monitoring different parameters from wastewater. Automated samplers provide an easy and fast MP sampling protocol. Composite samples also include in-day variation, which is important when evaluating the total number of MPs in effluents discharged to the environment (Talvitie et al., 2017). However, according to our results, the low sample volumes together with low MP concentration and sensitivity to contamination leads easily to false estimation of MP concentrations in effluents. Recent studies emphasize the necessity of standardized and harmonized methods when evaluating the amount of MPs discharged from WWTPs (Murphy et al., 2016; Mintenig et al., 2017; Ziajahromi et al., 2017). Our study suggested using in-situ pumping and filtering device with large volume sampling when examining the MPs in secondary and tertiary effluent.

1.3.2 The effect of size and shape of the MPs on their removal in different treatment technologies

The RSF, DAF and MBR removed all size fractions. The DF also removed all size fractions, but due the variation between the replicates, the results should be handled with care. Before the treatments, in primary or secondary effluents, the smallest size fraction (20-100 μm) was the most abundant in three out of four WWTPs (Fig. 1.). This finding supports our previous study where pre-treatment efficiently removed larger size fractions (>300 μm , 100-300 μm) and the smallest size fraction (20-100 μm) became most abundant (Talvitie et al., 2017). The results highlight the need for final treatment stage technologies to remove particularly the small-size (<100 μm) MPs from wastewater. According to the results, we also suggest including small size fractions (<100 μm) into the examination when evaluating the role of WWTPs as a point source of MPs into the environment, as particularly smaller MPs are left in effluents after the conventional treatment processes.

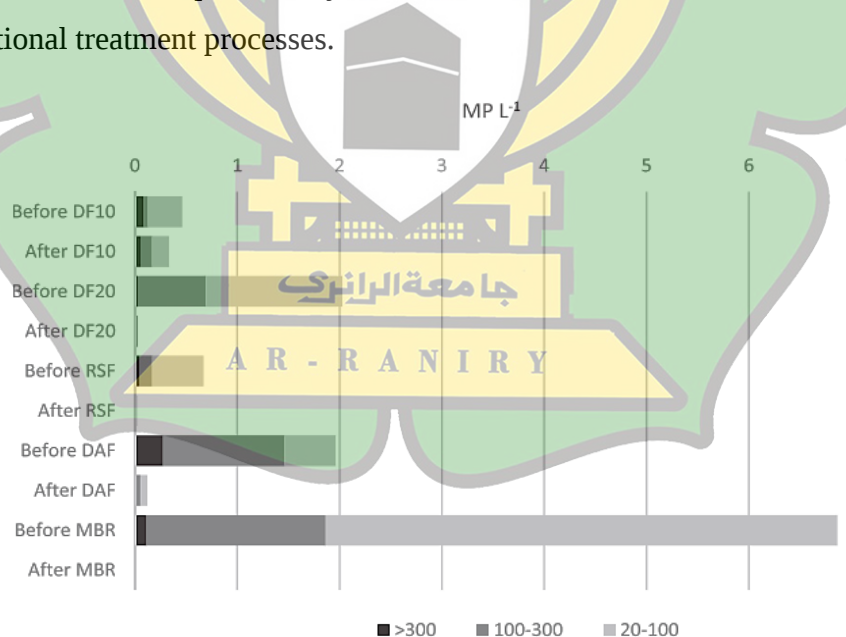


Fig. 1.1 Concentration of MPs in each size fraction (20-100 μm , 100-300 μm , >300 μm) before and after the treatments. DF10 = Discfilter with pore size 10 μm , DF20 = Discfilter with pore size 20 μm , RSF = Rapid Sand Filters, DAF = Dissolved Air Flotation and MBR = Membrane Bioreactor.

All shapes of MPs were removed efficiently during treatments (Fig. 2.). Fibers comprised the majority of MPs detected in our samples, and contributed to 39-81% before and 29-100% after the treatments of total MPs (Fig. 2.). Most of the fibers entering the WWTPs are removed already during pre-treatment phases (Talvitie et al., 2015, 2017), however, a proportion of them also passes through the process entering the effluent. Hence, the final-stage treatment technologies have to be able to remove particularly fibers to efficiently increase the removal capacity of MPs from wastewater.

1.3.3 FTIR analysis

Altogether 13 polymers were identified: polyester (PES), polyethylene (PE), polypropylene (PP), polystyrene (PS), polyurethane (PU), polyvinylchloride (PVC), polyamide (PA), acrylamide, polyacrylate, alkyd resin, polyphenylene oxides (PPO) and ethylene vinyl acetates (EVA). PES dominated the samples (av. 60%), followed by PE (av. 14%), polyacrylates (av. 7%), PVC (av. 5%), PS (av. 4%) and PP (av. 3%). Most of the PES comprised of textile fibers and most of the PE of microbeads that are, based on their particular shape and size, most likely from personal care products (Fendall and Sewell, 2009; Schneiderman, 2015; Talvitie et al., 2017). The Discfilter and MBR decreased the number of polymers during the treatment. In their study, Mintenig et al. (2017) also detected clear decrease in the amount of polymers (from 6 to 3) during the postfiltration. In this study, with RSF and DAF, more polymers were detected after the treatment (Table 6). Largest sample volumes (1000 L) was sampled after the DAF and RSF and it is possible that with the larger volumes more rare polymers was detected, increasing the amount of detected polymers. The same polymer were probably present but not detected with lowers samples volumes before the treatment.

Some of the previous studies have relied on visual identification of MPs (Dris et al., 2015; Talvitie et al., 2015; Mason et al., 2016). The MP analysis based on visual identification contains the risk of MP over/underestimation due the misidentification of particles. However, sample preparation (e.g digestion, staining and extraction) can reduce the risk of misidentification (Mason et al.,

2016). Most of the studies perform FTIR analysis to confirm the materials of MPs, but include visual pre-selection of the particles prior to analysis (Carr et al., 2016; Murphy et al., 2016; Talvitie et al., 2017; Ziajahromi et al., 2017; this study) and therefore contain a risk of underestimation.

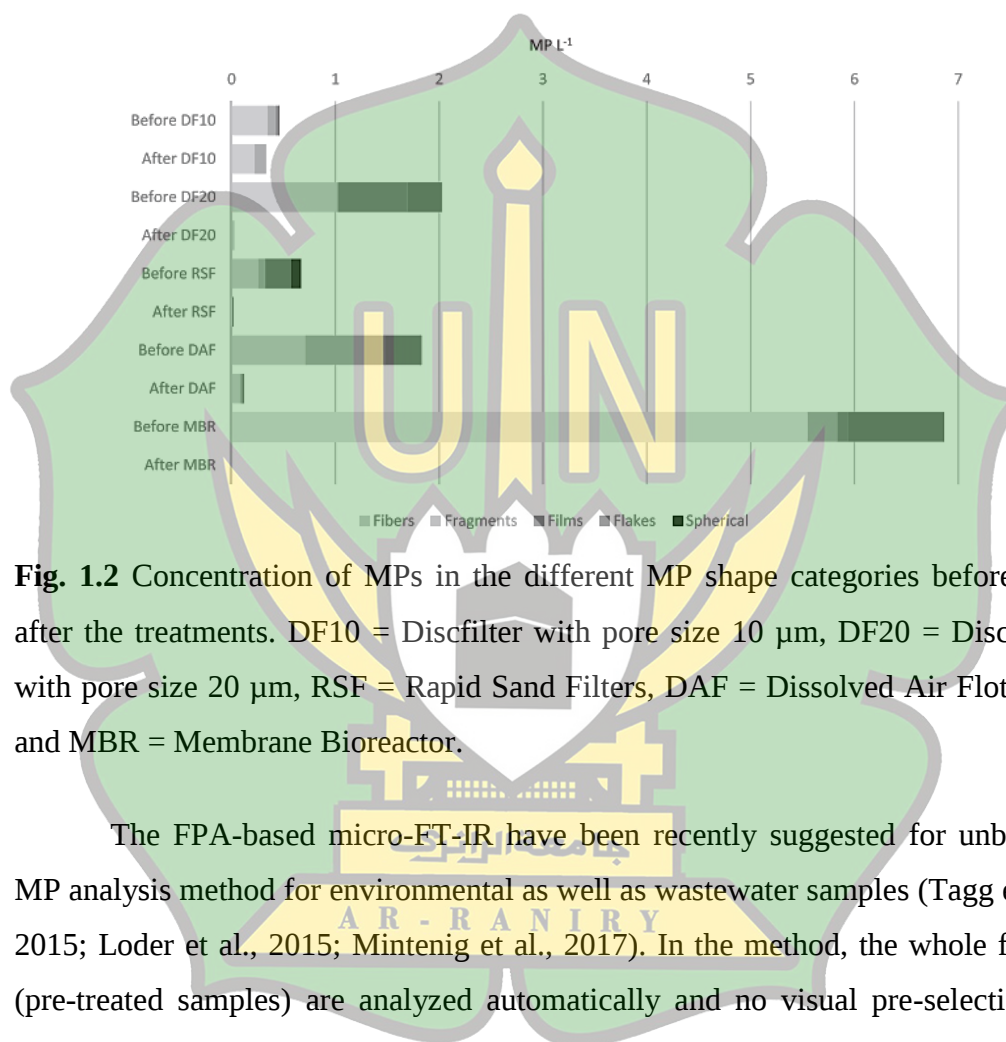


Fig. 1.2 Concentration of MPs in the different MP shape categories before and after the treatments. DF10 = Discfilter with pore size 10 μm , DF20 = Discfilter with pore size 20 μm , RSF = Rapid Sand Filters, DAF = Dissolved Air Flotation and MBR = Membrane Bioreactor.

The FPA-based micro-FT-IR have been recently suggested for unbiased MP analysis method for environmental as well as wastewater samples (Tagg et al., 2015; Loder et al., 2015; Mintenig et al., 2017). In the method, the whole filters (pre-treated samples) are analyzed automatically and no visual pre-selection is needed. This gives clear advantage compared to methods based on visual pre-selection. However, the whole-filter analysis appear to be time consuming, especially when analyzing wastewater samples containing high number of particles. This may further lead to compromises like performing partial analysis of the samples in order to process the analysis in reasonable time (Mintenig et al., 2017). Further development of MP analysis is needed, particularly for challenging matrixes like wastewaters, for better estimations of quantities and qualities of MPs in wastewaters.

The proportion of primary and secondary MPs in final effluents were estimated. In secondary effluent, after the CAS process, the primary MPs comprised 19% and secondary MPs 81% of total amount of MPs. After the advanced final-stage treatments, in final effluent, the corresponding figures were 9% and 91%, respectively. The primary MPs comprised mainly of microbeads from personal care products and secondary MPs of synthetic textile fibers and fragmented pieces of plastics (Fig. 3.). The percentage of secondary MPs increased slightly with purification level. The reason for this is probably the escape of synthetic fibres from the treatments, due to their small size and morphology, which allow them to pass through small pore sizes.

The proportion of primary and secondary MPs in effluent samples were also estimated (the DF10 results are excluded from the examination). After the CAS process, in secondary effluent, the primary MPs comprised 19% and secondary MPs 81% of total amount of MPs. After the advanced final-stage treatments, in final effluent, the corresponding figures were 9% and 91%, respectively. The primary MPs comprised mainly of microbeads from personal care products and secondary MPs of synthetic textile fibers and fragmented pieces of plastics (Fig. 3.). The proportion of secondary MPs increased slightly with purification level as the proportion of textile fibers increased. Due to their small size and morphology, fibers probably pass through the final-stage treatments more easily, compared to microbeads from cosmetics.

Dividing MPs into primary and secondary particles is a useful distinction as it can help to find their sources and identify solutions to reduce their input to the environment (GESAMP, 2015). When MPs have a distinct shape and color, it may be possible to recognize them during visual inspection and hence estimate their source, like in a case of textile fibers and microbeads from cosmetics. The knowledge of the source gives the possibility to control the MP contamination before they enter WWTPs and in environment. For example, companies and governments had started to regulate and ban the use of microbeads in personal care products (Microbead-Free Waters Act, 2015). Also, filters for removing

textile fibers from washing machine wastewater has been developed (Life + Mermaid, 2017). However, even if part of the MPs entering WWTPs could be removed with source-based solutions, there will be still a significant proportion of unrecognizable primary and secondary MPs, which will remain the concern of WWTPs in a future.

1.4 Conclusions

All advanced final-stage wastewater treatment technologies included in our study removed microplastics ($>20\ \mu\text{m}$). The MBR decreased 99.9% of the MPs from primary effluent and gave also the lowest MP concentration in the final effluent. The RSF removed 97%, DAF 95% and DF 40-98.5% of the MPs from secondary effluent during the treatments. Given the large volumes of effluents constantly discharged into the aquatic environments, microplastic pollution should be taken into consideration, when designing advanced final-stage wastewater treatment technologies and applying them into WWTPs. The treatments also removed all size fractions and shapes of MPs. The smallest size fraction (20-100 μm) and textile fibers were the most common MP types before and after the final treatment stages. This highlights the need for final-stage technologies to remove particularly small size and fiber-like MPs from effluents.

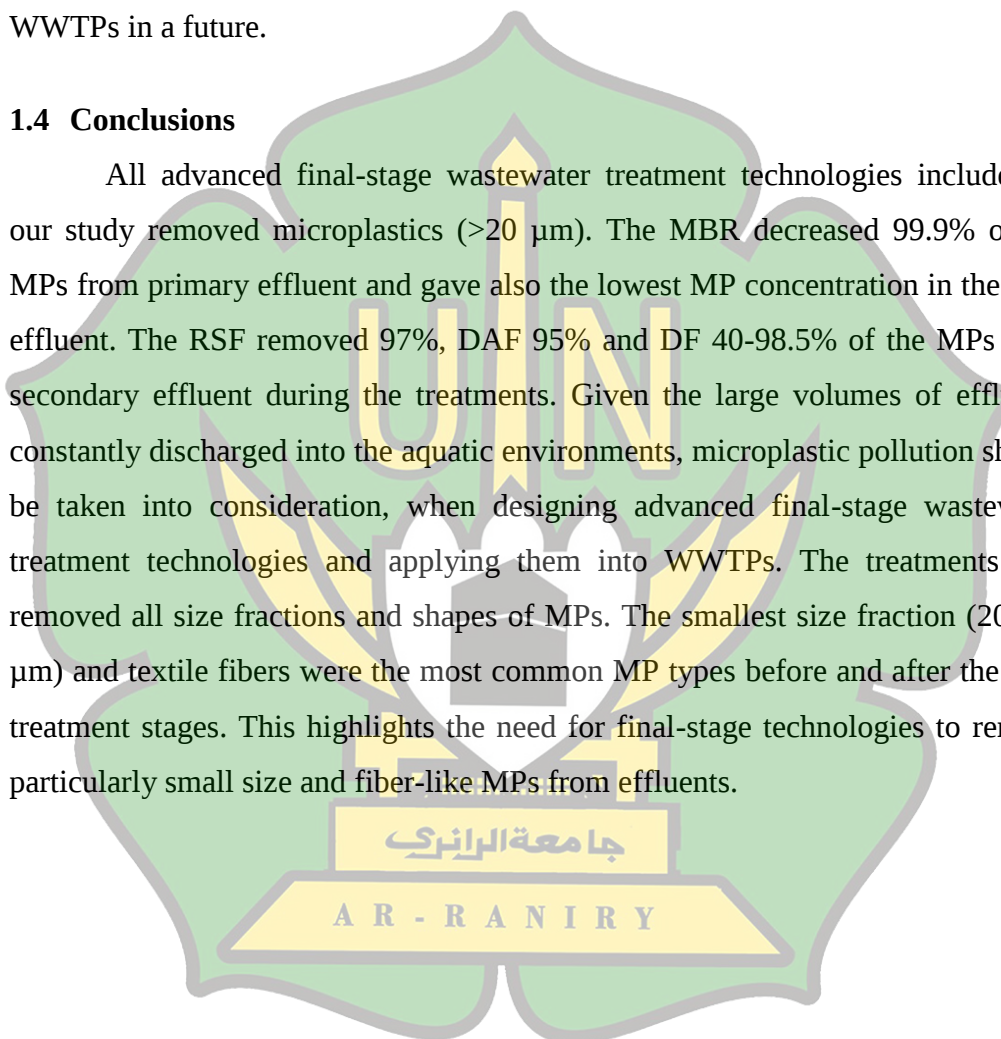


Table 1.6 The amount of different polymers and their percentages before and after the advanced wastewater treatments. DF 10 = Discfilter with pore size 10 μm , DF 20 = Discfilter with pore size 20 μm , RSF = Rapid Sand Filters, DAF = Dissolved Air Flotation and MBR = Membrane Bioreactor.

Polymers	DF 10		DF 20		RSF		DAF		MBR	
	Before	After	Before	After	Before	After	Before	After	Before	After
PES (%)	75.36	66.67	45.89	100	18.16	28.38	24.10	82.24	70.08	100
PE (%)	14.49	33.33	0.66		30.99	1.86	47.08	12.01	3.42	
PP (%)			4.11		1.71	1.86	8.82	0.88	15.8	
PS (%)	2.9					26.53	8.54	1.68		
PU (%)			16.45					0.27	1.36	
PVC (%)			32.89		16.35	1.86		0.27	1.36	
PVA (%)	4.35				0.1		0.05			
Polyamide (%)	1.45						1.7	0.88	2.76	
Acrylamide (%)	1.45									
Polyacrylates (%)					32.07	26.53	9.71	0.88	4.40	
Alkyd Resin (%)						1.86		0.88	1.40	
PPO (%)						11.14				
EVA (%)									0.04	
Total Amount	6	2	5	1	6	8	7	9	9	1



Fig. 1.3 A and B: primary MPs. Microbeads derived from personal care products. C and D: Secondary MPs. Fragments from break-down of larger plastics and synthetic textile fibers.

Our study included comprehensive FTIR analysis. MPs were made of 13 different polymers, with the majority determined as PES and PE. The proportion of secondary MPs increased slightly with purification level. The primary MPs comprised mainly of microbeads from personal care products and secondary MPs of synthetic textile fibers and fragmented pieces of plastics. The knowledge of the sources gives the possibility to source control of the MP pollution before they enter WWTPs.

Acknowledgments

The author would like to thank Viikinmaki, Kakolanmaki, Paroinen and Kenkaveronniemi WWTPs for access to their facilities, providing background data and practical help with sampling. The author would also like to thank SIB labs in University of Eastern Finland for providing the equipment for FTIR analysis. Special thanks for the help and support Antonina Kruglova, Ossi Talvitie, Mikko Selenius, Ritva Savolainen and Jari Leskinen. Research was funded by Maj and Tor Nessling Foundation (201600414).

Appendix A. Supplementary data

Supplementary data related to this article can be found at <http://dx.doi.org/10.1016/j.watres.2017.07.005>.



REFERENCES

- Browne, M.A., Niven, S.J., Galloway, T.S., Rowland, S.J., Thompson, R.C., 2013. Microplastic moves pollutants and additives to worms, reducing functions linked to health and biodiversity. *Curr. Biol.* 23, 2388-2392.
- Carr, S.A., Liu, J., Tesoro, A.G., 2016. Transport and fate of microplastic particles in wastewater treatment plants. *Water Res.* 91, 174-182.
- Chua, E., Shimeta, J., Nugegoda, D., Morrison, P.D., Clarke, B., 2014. Assimilation of polybrominated diphenyl ethers from microplastics by the marine amphipod, *Allorchestes compressa*. *Environ. Sci. Technol.* 48, 8127-8134.
- Dris, R., Gasperi, J., Rocher, V., Saad, M., Renault, N., Tassin, B., 2015. Microplastic contamination in an urban area: a case study in Greater Paris. *Environ. Chem.* 12, 592-599.
- Fendall, L.S., Sewell, M.A., 2009. Contributing to marine pollution by washing your face: microplastics in facial cleansers. *Mar. Pollut. Bull.* 58 (8), 1225-1228.
- GESAMP, 2015. Sources, fate and effects of microplastics in the marine environment: a global assessment. In: Kershaw, P.J. (Ed.), IMO/FAO/UNESCO-IOC/UNIDO/WMO/ IAEA/UN/UNEP/UNDP Joint Group of Experts on the Scientific Aspects of Marine Environmental Protection, p. 96. Rep. Stud. GESAMP No. 90.
- Gurung, K., 2014. Feasibility Study of Submerged Membrane Bioreactor (MBR) as an Alternative to Conventional Activated Sludge Process (CASP) for Municipal Wastewater Treatment: a Pilot Scale Study (Master's thesis). Lappeenranta University of Technology, School of Technology, Master's Degree Programme in Energy Technology.
- Life + Mermaids. 2017. <http://life-mermaids.eu/en/research/technologies/>.

- Loder, M.G.J., Kuczera, M., Mintenig, S., Lorenz, C., Gerdt, G., 2015. Focal plane array detector-based micro-Fourier-transform infrared imaging for the analysis of microplastics in environmental samples. *Environ. Chem.* 12, 563-581.
- Mason, S., Garneau, D., Sutton, R., Chu, Y., Ehmann, K., 2016. Microplastic pollution is widely detected in US municipal wastewater treatment plant effluent. *Environ. Pollut.* 218, 1045-1054.
- Microbead-Free Waters Act 2015. <https://obamawhitehouse.archives.gov/the-press-office/2015/12/28/statement-press-secretary-hr-1321-s-2425>.
- Mintenig, S.M., Int-Veen, I., Loder, M.G., Primpke, S., Gerdt, G., 2017. Identification of microplastic in effluents of waste water treatment plants using focal plane array-based micro-Fourier-transform infrared imaging. *Water Res.* 108, 365-372.
- Miranda, D.A., de Carvalho-Souza, G.F., 2016. Are we eating plastic-ingesting fish? *Mar. Pollut. Bull.* 103 (1-2), 109-114.
- Murphy, F., Ewins, C., Carbonnier, F., Quinn, B., 2016. Wastewater treatment works (WwTW) as a source of microplastics in the aquatic environment. *Environ. Sci. Technol.* 50, 5800-5808.
- Rios, L., Joes, P., Moore, C., Narayan, U., 2010. Quantification of persistent organic pollutants adsorbed on plastic debris from the Northern Pacific Gyre's "eastern garbage patch". *J. Environ. Monit.* 12, 2226-2236.
- Rochman, C., Hentschel, B., Teh, S., 2014. Long-term sorption of metals is similar among plastic types: implications for plastic debris in aquatic environments. *PLoS One* 9 (1), e85433.
- Rochman, C.M., Tahir, A., Williams, S.L., Baxa, D.V., Lam, R., Miller, J.T., Teh, F.C., Werorilangi, S., Teh, S.J., 2015. Anthropogenic debris in seafood: plastic debris and fibers from 476 textiles in fish and bivalves sold for human consumption. *Sci. Rep.* 5, 14340.

- Rossi, L., 2014. Enhancing Phosphorus Removal by Disc Filtration- a Case Study from Viikinmaki Wastewater Treatment Plant (Master's thesis). Aalto University, School of chemical technology, Department of Biotechnology and Chemical Technology. Retrieved from: <https://aaltodoc.aalto.fi/handle/123456789/14663?show%4full>.
- Schneiderman, E.T., 2015. Discharging Microbeads to Our Waters: an Examination of Wastewater Treatment Plants in New York. https://ag.ny.gov/pdfs/2015_Microbeads_Report_FINAL.pdf.
- Tagg, A.S., Sapp, M., Harrison, J.P., Ojeda, J.J., 2015. Identification and quantification of microplastics in wastewater using focal plane array-based reflectance micro- FT-IR imaging. *Anal. Chem.* 87, 6032-6040.
- Talvitie, J., Heinonen, M., Paakkonen, J.P., Vahtera, E., Mikola, A., et al., 2015. Do wastewater treatment plants act as a potential point source of microplastics? Preliminary study in the coastal Gulf of Finland, Baltic Sea. *Water Sci. Technol.* 72, 1495-1504.
- Talvitie, J., Mikola, A., Setälä, Talvitie, J., Mikola, A., Setälä, O., Heinonen, M., Koistinen, A., 2017. How well is microlitter purified from wastewater - A detailed study on the stepwise removal of microlitter in a tertiary level wastewater treatment plant. *Water Res.* 109, 164-172. removal of microlitter in a tertiary level wastewater treatment plant. *Water Res.* 109, 164-172.
- Ziajahromi, S., Neale, P., Rintoul, L., Leusch, F., 2017. Wastewater treatment plants as a pathway for microplastics: development of a new approach to sample wastewater-based microplastics. *Water Res.* 112, 93-99.

BAB II

TERJEMAHAN ARTIKEL

Solusi untuk Pencemaran Mikroplastik – Penyisihan Mikroplastik dari Air Limbah dengan Teknologi Pengolahan Air Limbah Lebih Lanjut

Julia Talvitie ^a, Anna Mikola ^a, Arto Koistinen ^b, Outi Setälä ^c.

^a Department of Built Environment, Aalto University, PO Box 15200, FI-00076, Aalto, Finland

^b University of Eastern Finland Sib Labs, PO Box 1627, FI-70211, Kuopio, Finland

^c Finnish Environment Institute, Marine Research Center, PO Box 140, FI-00251 Helsinki, Finland

ABSTRAK

Pengolahan air limbah konvensional dengan proses pengolahan primer dan sekunder secara efisien menghilangkan mikroplastik (MP) dari air limbah. Meskipun pembuangannya efisien, limbah akhir dapat menjadi sebagai jalur masuk mikroplastik, mengingat volume besar yang terus-menerus dibuang ke lingkungan akuatik. Studi ini menyelidiki penyisihan mikroplastik dari limbah di empat instalasi pengolahan air limbah kota yang berbeda dengan menggunakan teknologi pengolahan tahap akhir lanjutan yang berbeda. Studi ini mencakup bioreaktor membran yang mengolah limbah primer dan teknologi pengolahan tersier yang berbeda (diskfilter, saringan pasir cepat, dan flotasi udara terlarut) yang mengolah limbah sekunder. MBR menghilangkan 99,9% mikroplastik selama pengolahan (dari 6,9 hingga 0,005 MP L⁻¹), saringan pasir cepat 97% (dari 0,7 hingga 0,02 MP L⁻¹), flotasi udara terlarut 95% (dari 2,0 hingga 0,1 MP L⁻¹) dan diskfilter 40-98,5% (dari 0,5 - 2,0 hingga 0,03 - 0,3 MP L⁻¹) dari mikroplastik selama pengolahan. Penelitian ini menunjukkan bahwa dengan teknologi pengolahan air limbah tahap akhir lebih lanjut, IPAL dapat secara substansial mengurangi polusi mikroplastik yang dibuang dari instalasi pengolahan air limbah ke lingkungan akuatik.

2.1 Pendahuluan

Mikroplastik (MP) didefinisikan sebagai partikel plastik <5 mm. Mikroplastik primer memang dibentuk dalam ukuran kecil seperti butiran resin murni, *microbeads* yang ditemukan dalam produk perawatan kulit, peralatan *scrubber* yang digunakan dalam bahan pembersih abrasif, dan bubuk plastik yang digunakan untuk pencetakan, sedangkan mikroplastik sekunder dihasilkan dari fragmentasi partikel plastik yang lebih besar. Fragmentasi dapat terjadi selama penggunaan bahan seperti tekstil, cat, dan ban, atau setelah plastik terlepas ke lingkungan. Mikroplastik primer dan sekunder ditemukan dari sampel lingkungan (GESAMP, 2015). Mikroplastik berpotensi untuk menyerap polutan organik persisten (Rios et al., 2010; Chua et al., 2014) dan logam berat (Rochman et al., 2014) dari lingkungan air sekitarnya. Selanjutnya, berbagai aditif plastik, seperti penahan api dan pemlastis, termasuk dalam plastik selama pembuatan. Telah diperkirakan bahwa jika mikroplastik dengan mikropolutan tersebut memasuki jaring makanan melalui pencernaan oleh biota, hal ini dapat menyebabkan dampak ekosistem dan kesehatan manusia (Browne et al., 2013; Rochman et al., 2015; Miranda dan de Carvalho-Souza, 2016).

Instalasi Pengolahan Air Limbah (IPAL) dapat bertindak sebagai penghalang tetapi juga dapat sebagai jalur masuknya mikroplastik ke lingkungan perairan. Pengolahan air limbah konvensional dengan proses pengolahan primer dan sekunder dapat menghilangkan mikroplastik dari air limbah hingga 99% dan sebagian besar mikroplastik sudah dihilangkan selama tahap sebelum pengolahan (Carr et al., 2016; Murphy et al., 2016; Talvitie et al., 2017). Terlepas dari kemampuan reduksi yang tinggi, IPAL konvensional sebenarnya dapat menjadi sumber mikroplastik yang signifikan mengingat besarnya volume limbah yang dibuang (Mason dkk., 2016; Murphy dkk., 2016; Mintenig dkk., 2017; Talvitie dkk. al., 2017).

Selama beberapa dekade terakhir, pengolahan air limbah terus menerus dibutuhkan untuk meningkatkan kualitas limbah akhir. Namun, teknologi untuk meningkatkan kualitas limbah akhir tidak dirancang khusus untuk menghilangkan

mikroplastik dan tidak serta merta menghilangkan mikroplastik dari limbah (Mason et al., 2016; Talvitie et al., 2017). Beberapa penelitian menunjukkan, bagaimanapun, dengan beberapa teknologi pengolahan air limbah tahap akhir lanjutan, penyisihan mikroplastik dari limbah dapat lebih ditingkatkan (Carr et al., 2016; Mintenig et al., 2017; Ziajahromi et al., 2017).

Tujuan dari penelitian ini adalah untuk menguji efisiensi berbagai teknologi pengolahan tahap akhir lanjutan untuk menghilangkan mikroplastik dari limbah. Penelitian ini meliputi pengolahan tersier; Diskfilter (DF), Saringan Pasir Cepat (RSF), Flotasi Udara Terlarut (DAF) dan Bioreaktor Membran (MBR). Selain itu, kami memeriksa jenis mikroplastik mana (ukuran dan bentuk) yang dihilangkan dan mana yang tersisa di limbah akhir setelah pengolahan. Penelitian ini diulangi dengan sampel komposit otomatis 24 jam dalam variasi sehari untuk pemeriksaan penyisihan dan konsentrasi mikroplastik. Kami melakukan analisis FTIR yang komprehensif untuk semua dan seluruh sampel yang termasuk dalam penelitian. Pada akhirnya, kami memperkirakan proporsi mikroplastik primer dan sekunder di limbah akhir.

2.2 Bahan dan Metode

2.2.1 Deskripsi IPAL yang terpilih dan Teknologi Pengolahan Air Limbah lanjutan

Teknologi pengolahan tahap akhir lanjutan yang paling umum digunakan untuk penelitian kami, pengolahan tersier termasuk teknik penyaringan (pasir dan kain) dan flotasi yang berbeda. Juga, bioreaktor membran.

Filtrasi layar mikro dengan Diskfilters (DF) diperiksa di IPAL Viikinmaki yang terletak di Helsinki, wilayah metropolitan Finlandia. Proses IPAL Viikinmaki didasarkan pada klarifikasi primer, proses lumpur aktif konvensional (CAS) dan filter biologis denitrifikasi tersier (BAF). Karakteristik lebih rinci dari masing-masing IPAL yang termasuk dalam penelitian ini diberikan dalam data tambahan (SD. Tabel S1). Diskfilter skala pilot (*Hydrotech HSF 1702 -1F*) terdiri dari dua disk yang masing-masing terdiri dari 24 panel filter. Unit ini disebut sistem *inside-out* di mana air masuk dimasukkan ke dalam panel filter. Penyisihan

partikel didasarkan pada retensi fisik kedalam filter dan pembentukan lumpur didalam panel filter. Pembentukan lumpur memperlambat penyaringan, menyebabkan kenaikan level air di dalam tabung. Saat air memenuhi sensor level, *Backwash* dimulai. *Backwash* dilakukan dengan tekanan tinggi (dalam hal ini 8 bar) untuk membilas lumpur. Penyisihan partikel dan nutrisi selanjutnya dapat ditingkatkan dengan koagulan. Dalam penelitian ini digunakan koagulan berbahan dasar besi dan polimer kationik dengan dosis masing-masing 2 mg/L dan 1 mg/L. Waktu retensi hidrolik (HRT) adalah 4 menit dan aliran $\sim 20 \text{ m}^3/\text{jam}$. Area filtrasi keseluruhan adalah 5.76 m^2 dan ukuran pori dari filter adalah 10 atau $20 \mu\text{m}$ (Rossi, 2014).

Saringan pasir cepat (gravitasi) (RSF) sebagai pengolahan tersier skala penuh diperiksa di IPAL Kakolanmaki (Instalasi Pengolahan Air Limbah Wilayah Turku), kota Turku, Finlandia Selatan. Pada RSF, air limbah disaring melalui lapisan pasir. Saringan pasir terdiri dari 1 m kerikil dengan ukuran gain 3-5 mm dan kuarsa 0,5m dengan ukuran butiran 0,1 - 0,5mm. Selain pemisahan fisik menghilangkan padatan tersuspensi, adhesi oleh mikroba menghilangkan nutrisi dan mikroba. Sebelum proses saringan pasir dilakukan dengan metode CAS.

Flotasi Udara Terlarut (DAF) sebagai pengolahan tersier skala penuh diperiksa di IPAL Paroinen (*Hameenlinna Region Water Supply and Sewerage Ltd*) yang terletak di kota Hameenlinna, Finlandia Selatan. Dalam DAF, air dijenuhkan dengan udara pada tekanan tinggi dan kemudian dipompa ke tangki flotasi pada 1 atm, membentuk air yang tersebar. Gelembung udara yang dilepaskan dalam air terdispersi menempel pada padatan tersuspensi yang menyebabkannya mengapung ke permukaan, dimana ia dihilangkan dengan metode *skimming*. Sebelum diflotasi, ditambahkan bahan kimia *flokulasi Polyaluminium Chloride (PAX)* ke dalam air limbah dengan dosis 40 mg/L untuk meningkatkan flokulasi. Sebelum proses DAF, prosesnya didasarkan pada proses CAS.

Unit bioreaktor membran (MBR) diperiksa di IPAL Kenkaveronniemi, yang terletak di kota Mikkeli, Tenggara Finlandia. IPAL Kenkaveronniemi umumnya didasarkan pada klasifikasi primer, proses CAS, dan limbah klasifikasi sekunder dihidrogenisasi menggunakan larutan asam perasetat. Unit MBR mencakup proses *Submerged Membrane Unit (SMU)* dan *ultrafiltration (UF) (LF/KUBOTA SMUTM)*. Sistem membran terdiri dari 20 kartrid membran lembaran datar yang dipasang di dalam tangki filtrasi. Selama penyaringan, air dipaksa masuk melalui membran di bawah tekanan negatif yang dibuat oleh pompa dan dikumpulkan ke tangki terpisah. MBR adalah kombinasi proses filtrasi membran dengan reaktor biologis pertumbuhan tersuspensi. Kombinasi ini mengolah limbah primer yang mengandung padatan tersuspensi serta bahan organik dan nutrisi terlarut. Oleh karena itu, teknologi MBR menggantikan penjernih sekunder dalam sistem CAS. Dalam unit MBR, luas membran efektif adalah 8 m² dan ukuran pori nominal membran 0,4 µm. Nilai HRT bervariasi dari 20 sampai 100 jam dan aliran antara 40 dan 90 l/jam (Gurung, 2014).

2.2.2 Pengambilan Sampel

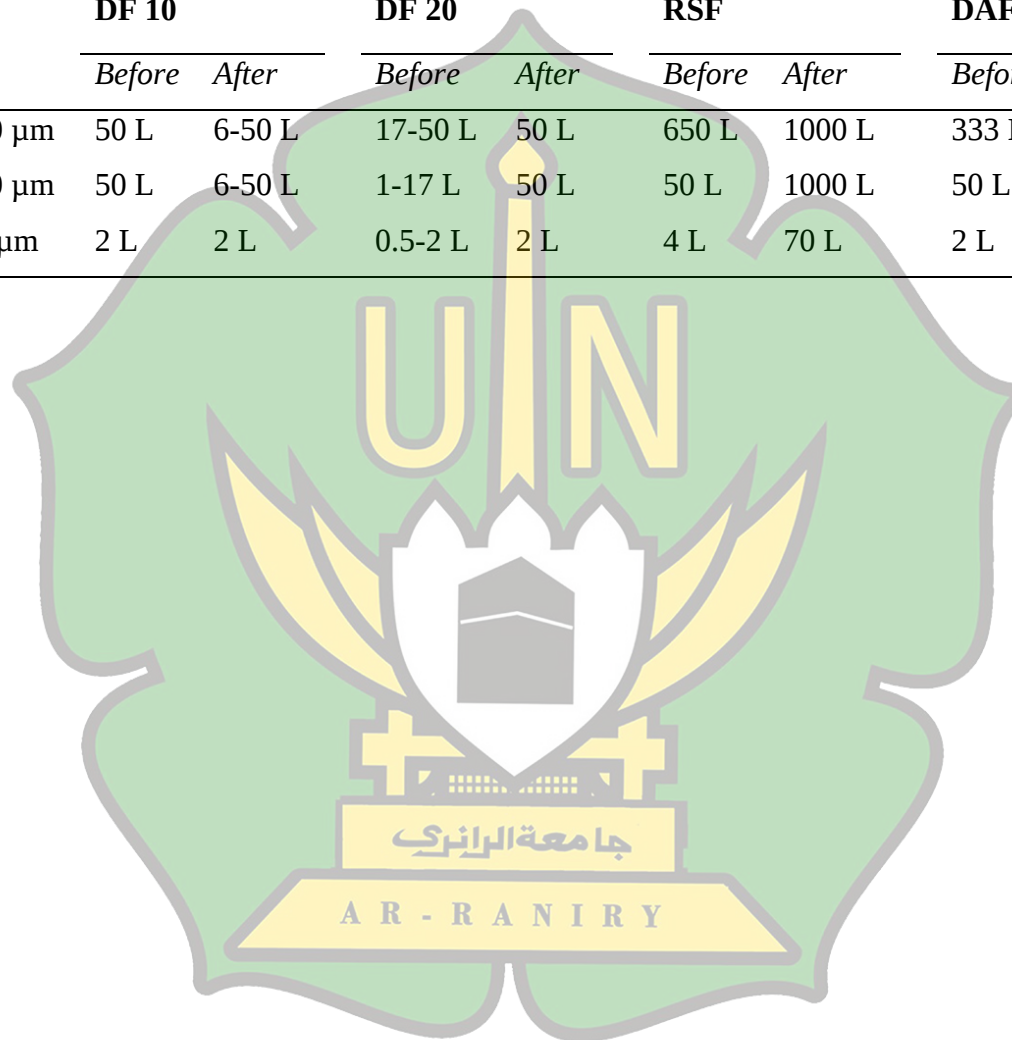
Pengambilan sampel di empat IPAL yang berbeda, dilakukan pada bulan antara April 2014 dan Agustus 2015. Tanggal dan waktu pengambilan sampel yang sebenarnya diberikan dalam data tambahan (SD. Tabel S2.). Sampel dengan tiga pengulangan dikumpulkan sebelum dan sesudah perlakuan. Salinan terdiri dari tiga sampel air masing-masing. Perangkat filter yang dibuat khusus dengan menggunakan fraksinasi *in-situ* (Talvitie et al., 2015). Ukuran *mesh filter* adalah 300, 100 dan 20 µm, memberikan fraksi ukuran partikel > 300 µm, 100-300 µm dan 20-100 µm. Pengolahan skala penuh pengambilan sampel (RSF, DAF) dilakukan dengan memompa air (kedalaman ~1m) dari aliran air limbah ke perangkat penyaringan dengan pompa listrik (*Biltemaart.17-953*). Dalam pengolahan skala (diskfilter, MBR), sampel dikumpulkan dari keran yang dirancang untuk pengambilan sampel ke dalam perangkat filter. Sebagai tambahan, sampel setelah CAS di IPAL Kenkaveronniemi dikumpulkan untuk melihat kemungkinan peningkatan kapasitas pembuangan yang diberikan oleh

metode MBR kemudian dibandingkan dengan CAS. Volume sampel air diukur dengan *flow meter* (*Gardena Water Smart Flow Meter*) dan divariasikan dengan kualitas air limbah dan ukuran filter (Tabel 1). Pengambilan sampel dihentikan sebelum filter tersumbat dengan bahan organik. Setelah pengambilan sampel, filter dikumpulkan ke dalam cawan petri dan disimpan dalam suhu kamar.



Tabel 2.1 Volume sampel (l = liter) sebelum dan sesudah pengolahan untuk setiap ukuran filter. DF 10 = Diskfilter dengan ukuran pori 10 μm , DF 20 = Diskfilter dengan ukuran pori 20 μm , RSF = Saringan Pasir Cepat, DAF = Flotasi Udara Terlarut dan MBR = Bioreaktor Membran.

	DF 10		DF 20		RSF		DAF		MBR		After CAS
	<i>Before</i>	<i>After</i>	<i>Before</i>	<i>After</i>	<i>Before</i>	<i>After</i>	<i>Before</i>	<i>After</i>	<i>Before</i>	<i>After</i>	
300 μm	50 L	6-50 L	17-50 L	50 L	650 L	1000 L	333 L	1000 L	140 L	140 L	500 L
100 μm	50 L	6-50 L	1-17 L	50 L	50 L	1000 L	50 L	300 L	4 L	140 L	50 L
20 μm	2 L	2 L	0.5-2 L	2 L	4 L	70 L	2 L	2 L	0.4 L	140 L	4 L



Pengambilan sampel tambahan dilakukan dengan sampel komposit 24 jam otomatis. Pengambilan sampel komposit di setiap IPAL diambil sampel secara teratur dan bervariasi pada jarak waktu 15 menit selama periode 24 jam sebelum dan sesudah unit pengolahan (Tabel 2). Para pengambil sampel mengumpulkan air limbah ke dalam wadah plastik yang terletak di lemari es tertutup. Diskfilter tidak disertakan dalam pengambilan sampel komposit karena IPAL tidak dapat menyediakan peralatan tersebut.

Tabel 2.2 Volume sampel komposit 24 jam (L = liter) sebelum dan sesudah pengolahan untuk setiap ukuran filter. RSF = Saringan Pasir Cepat, DAF = Flotasi Udara Terlarut dan MBR = Bioreaktor Membran.

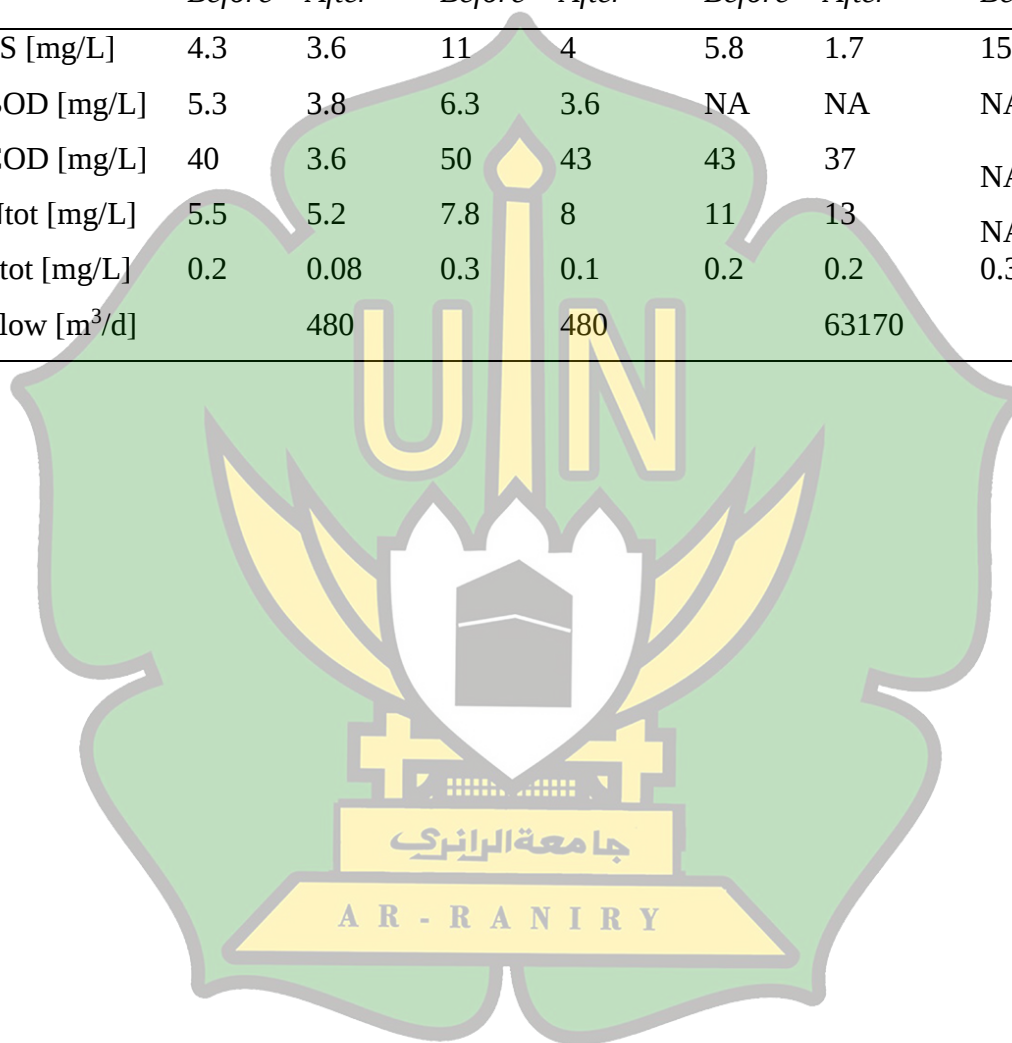
	RSF		DAF		MBR		After CAS
	<i>Before</i>	<i>After</i>	<i>Before</i>	<i>After</i>	<i>Before</i>	<i>After</i>	
300 μ m	27.4 L	25.5 L	15.8 L	16.1 L	5.8 L	6.1 L	4.2 L
100 μ m	27.4 L	25.5 L	15.8 L	16.1 L	5.8 L	6.1 L	4.2 L
20 μ m	4.0 L	25.5 L	4.0 L	16.1 L	0.4 L	6.1 L	4.2 L

2.2.3 Karakteristik Air Limbah dari IPAL yang Terpilih

Karakteristik utama air limbah dari lokasi pengambilan sampel mikroplastik dirangkum dalam Tabel 3. Hasil tersebut diperoleh dari analisis sampel komposit 24 jam yang dikumpulkan untuk program pemantauan mingguan tanaman. Sampel diambil sekitar waktu yang sama dengan studi mikroplastik.

Tabel 2.3 Karakteristik air limbah rata-rata sebelum dan sesudah pengolahan. DF 10 = Diskfilter dengan ukuran pori 10 μm , DF 20 = Diskfilter dengan ukuran pori 20 μm , RSF = Saringan Pasir Cepat, DAF = Flotasi Udara Terlarut dan MBR = Bioreaktor Membran.

Parameter	DF 10		DF 20		RSF		DAF		MBR		CAS
	<i>Before</i>	<i>After</i>	<i>Before</i>	<i>After</i>	<i>Before</i>	<i>After</i>	<i>Before</i>	<i>After</i>	<i>Before</i>	<i>After</i>	<i>After</i>
SS [mg/L]	4.3	3.6	11	4	5.8	1.7	15	5	40	<1	6
BOD [mg/L]	5.3	3.8	6.3	3.6	NA	NA	NA	1.6	NA	NA	NA
COD [mg/L]	40	3.6	50	43	43	37	NA	33.1	300	31	35
Ntot [mg/L]	5.5	5.2	7.8	8	11	13	NA	21.7	69	43	21
Ptot [mg/L]	0.2	0.08	0.3	0.1	0.2	0.2	0.3	0.1	6.4	1.3	0.2
Flow [m ³ /d]		480		480		63170		16855		2.2	8904



2.2.4 Karakterisasi Mikropartikel

Semua sampel diperiksa secara visual menggunakan mikroskop *stereo* (model *EZ4 HD*; *Leica Microsystems GmbH, Wetzlar, Jerman*), dengan kamera HD terintegrasi. Semua serat tekstil dan partikel yang diprediksi sebagai plastik dihitung dan partikel selanjutnya diklasifikasikan sebagai fragmen, serpihan, film dan bola, dan pewarnaannya didokumentasikan. Partikel dengan struktur sel dan bahan (organik) yang lembut dan mudah hancur dikeluarkan dari pemeriksaan lebih lanjut. Komposisi kimia dari partikel yang telah dipilih sebelumnya dianalisis dengan serupa *spektroskopi FTIR* (*Spectrum Spotlight 300, PerkinElmer, Waltham, MA, USA*). Partikel diambil secara individual dari sampel, dibilas dengan air suling dan ditempatkan pada *windows ZnSe* dan dibiarkan mengering selama kurang lebih satu jam, setelah itu setiap jendela difoto dan dianalisis dengan FTIR. Spektrum FTIR direkam dalam mode transmitansi, pada daerah panjang gelombang $700\text{--}4000\text{ cm}^{-1}$ pada resolusi 4 cm^{-1} dan dengan 15 scan. Untuk menganalisis spektrum, digunakan *Thermo Scientific™ Hummel Polymer and Additives FT-IR Spectral Library*. Serat dianalisis dengan perpustakaan serat tekstil yang sebelumnya dijelaskan dalam Talvitie et al. (2017). Teknik karakterisasi diperbolehkan untuk memasukkan semua ukuran partikel $>20\text{ }\mu\text{m}$.

2.2.5 Mitigasi Kontaminasi

Untuk meminimalkan kontaminasi, semua peralatan yang termasuk dalam protokol pengambilan sampel dibilas secara menyeluruh dengan air keran tepat sebelum digunakan. Filter diperiksa dengan mikroskop untuk memastikan pembilasan yang memadai. Setelah pengambilan sampel, filter ditempatkan dalam cawan petri. Menghindari kontaminasi mikroplastik merupakan tantangan dan oleh karena itu tiga kontrol yang masing-masingnya (tidak terikat) dibuat dengan menyaring 100 L air keran. Air keran disaring langsung dari keran ke dalam perangkat filter dan filter diperlakukan sebagai sampel sebenarnya. Pompa tidak termasuk dalam kontrol. Untuk pengambilan sampel komposit 24 jam, sampel kontrol dibuat dengan mengumpulkan air keran ke wadah plastik dan wadah

dibiarkan di dalam sampler (lemari es tertutup) selama 24 jam. Setelah periode 24 jam, air disaring dan diperlakukan sebagai sampel komposit aktual (Talvitie et al., 2017).

2.3 Hasil dan Pembahasan

2.3.1 Penyisihan MP dari Limbah dengan Teknologi Lanjutan

Semua teknologi tahap pengolahan akhir lanjutan; Diskfilters (DF), Saringan Pasir Cepat (RSF), Flotasi Udara Terlarut (DAF) dan Bioreaktor Membran (MBR) menghilangkan >95% mikroplastik (>20 μm) dari limbah (Tabel 4).

Dengan teknologi MBR, konsentrasi mikroplastik menurun dari $6.9 (\pm 1.0)$ menjadi $0.005 (\pm 0.004)$ mikroplastik L^{-1} . MBR mengolah air limbah primer dengan konsentrasi mikroplastik yang jauh lebih tinggi dibandingkan dengan limbah sekunder, memberikan persentase pembuangan yang lebih tinggi daripada pengolahan tersier (Tabel 4). Namun MBR juga memberikan konsentrasi mikroplastik limbah akhir yang paling rendah, yang menunjukkan bahwa MBR adalah teknologi yang paling efisien dalam penelitian ini untuk menghilangkan mikroplastik dari air limbah. Hasilnya seperti yang diharapkan karena filter MBR memiliki ukuran pori terkecil (0,4 μm) dari semua filter yang dipelajari.

Deteksi hanya dua mikroplastik (keduanya serat tekstil sintetis) MBR terkadang ditemukan dari filter yang rusak, dari kebocoran kecil antara segel di unit, atau dari kontaminasi udara di tangki terbuka. Tanpa unit MBR, konsentrasi mikroplastik dalam limbah sekunder di IPAL Kenkaveronniemi adalah $0,2 (\pm 0,06)$ mikroplastik L^{-1} . Oleh karena itu, teknologi MBR lanjutan melepaskan ~2,5% dari mikroplastik dibandingkan dengan CAS.

Dengan RSF, konsentrasi mikroplastik menurun dari $0,7 (\pm 0,1)$ menjadi $0,02 (\pm 0,007)$ mikroplastik L^{-1} . Selama RSF, mikroplastik terjebak di antara butiran pasir atau ditempelkan ke permukaan butiran pasir. Adhesi mungkin dapat ditingkatkan lebih lanjut dengan koagulan, namun, di IPAL Kakolanmaki tidak ada penambahan koagulan yang digunakan. Konsentrasi mikroplastik juga

menurun secara jelas pada perlakuan DAF dari $2.0 (\pm 0.07)$ menjadi $0.1 (\pm 0.04)$ MP L^{-1} . Selama flotasi, mikroplastik diangkut ke permukaan flok karena daya apungnya. Polutan yang mengambang kemudian dihilangkan dengan alat *skimming*. Karena flotasi dirancang khusus untuk menghilangkan partikel dengan massa jenis rendah, maka diperkirakan dapat menghilangkan plastik secara efisien, setidaknya yang memiliki massa jenis lebih rendah dari air.

Tabel 2.4 Konsentrasi mikroplastik rata-rata sebelum dan sesudah pengolahan. DF 10 = Diskfilter dengan ukuran pori 10 μm , DF 20 = Diskfilter dengan ukuran pori 20 μm , RSF = Saringan Pasir Cepat, DAF = Flotasi Udara Terlarut dan MBR = Bioreaktor Membran. Data diberikan dalam jumlah limbah mikroplastik perliter. Angka mewakili nilai rata-rata $\pm$ SE, $n = 3$.

<i>Treatment</i>	<i>Effluent Type</i>	<i>Before (MP/L⁻¹)</i>	<i>After (MP/L⁻¹)</i>	<i>Removal (%)</i>
DF 1	<i>Secondary</i>	0.5 (± 0.2)	0.3 (± 0.1)	40.0
DF 2	<i>Secondary</i>	2.0 (± 1.3)	0.03 (± 0.01)	98.5
RSF	<i>Secondary</i>	0.7 (± 0.1)	0.02 (± 0.007)	97.1
DAF	<i>Secondary</i>	2.0 (± 0.07)	0.1 (± 0.04)	95.0
MBR	<i>Primary</i>	6.9 (± 1.0)	0.005 (± 0.004)	99.9

DF juga menurunkan konsentrasi mikroplastik dari $0.5 (\pm 0.2)$ menjadi $0.3 (\pm 0.1)$ dengan 10 μm dan dari $2.0 (\pm 1.3)$ menjadi $0.03 (\pm 0.01)$ dengan ukuran pori filter 20 μm . Namun, variasi antara ulangan sangat tinggi dalam kedua kasus, sehingga hasilnya harus ditangani dengan hati-hati. Selain itu, ukuran pori 10 μm memberikan kapasitas pembuangan mikroplastik yang jauh lebih kecil dibandingkan dengan 20 μm , meskipun ukuran pori yang lebih kecil diharapkan dapat menghilangkan mikroplastik dengan lebih efisien. Karena gangguan pada proses pengolahan awal di IPAL, kualitas limbah pabrik (*pilot influent*) bervariasi selama periode pengambilan sampel. Selama pengambilan sampel DF 10 μm , variasi kualitas dari pilot influen menyebabkan penambahan polimer yang berlebihan, yang pada gilirannya menyebabkan perbedaan volume antara ulangan

setelah perlakuan (Tabel 1.), karena flok polimer lengket memblokir filter dengan cepat. Penambahan polimer yang berlebihan juga mengakibatkan pengotoran membran pada unit diskfilter, yang menyebabkan frekuensi *backwash* yang dipercepat. Selama *backwash* bertekanan tinggi, bagian dari mikroplastik mungkin melewati kain saring ke limbah akhir, menurunkan efisiensi pembuangan. Selama pengambilan sampel DF 20 μm , kemungkinan konsentrasi SS yang tinggi (Tabel 3.) menyebabkan perbedaan volume antara ulangan sebelum perlakuan (Tabel 1.)

Kontrol dengan air keran menunjukkan tidak ada kontaminasi mikroplastik dari sampel. Namun, sampel kontrol diproses tanpa pemompaan, karena sampel tersebut disaring langsung dari keran. Pemompaan mungkin dapat memberikan sedikit latar belakang pada sampel di mana pompa digunakan (Mintenig et al., 2017).

Penelitian ini mendukung penelitian sebelumnya tentang penyisihan mikroplastik secara efisien dalam fase tersier. Carr et al. (2016) melaporkan limbah bebas mikroplastik ($>45 \mu\text{m}$) setelah filter gravitasi tersier. Mintenig dkk. (2017) melaporkan unit pasca-filtrasi tersier (filtrasi media kain tumpukan, MECANA) untuk menghilangkan mikroplastik $>500 \mu\text{m}$ seluruhnya dan 95% MPs 20-500 μm (konsentrasi menurun dari 0,2 menjadi 0,01 mikroplastik L^{-1}). Selain itu, Ziajahromi et al. (2017) menemukan 0,28 mikroplastik L^{-1} setelah ultrafiltrasi tersier dan 0,21 mikroplastik L^{-1} setelah *reverse osmosis*. Namun, seperti yang disebutkan dalam pendahuluan, teknologi pengolahan air limbah tidak dirancang khusus untuk menghilangkan mikroplastik, dan tidak semuanya menghilangkan mikroplastik. Hal ini dapat dilihat pada penelitian kami sebelumnya (Talvitie et al., 2017), dimana pengolahan tersier, filter aktif biologis (BAF), tidak menurunkan konsentrasi mikroplastik dan dimana korelasi yang jelas antara filtrasi tersier dan pelepasan mikropartikel yang berkurang tidak dapat dideteksi. (Mason et al., 2016)

Juga menurut sampel komposit 24 jam RSF, DAF dan MBR menghilangkan mikroplastik $>20 \mu\text{m}$ dari air limbah (Tabel 5). Namun, hasil konsentrasi mikroplastik yang diperoleh setelah pengecekan berbeda, dikarenakan volum sampel terlalu kecil. Oleh karena itu kapasitas penghilangan berbeda dari hasil yang diperoleh dengan pengambilan sampel volume besar. Alasan perbedaan mungkin adalah volume sampel yang rendah, konsentrasi mikroplastik yang rendah, dan kontaminasi yang terbawa udara. Ketika konsentrasi mikroplastik sangat rendah, sampel komposit mungkin memberikan hasil yang salah, karena volume sampel sangat kecil (dalam penelitian ini bervariasi dari 4,2 hingga 27,4L). Hal ini terlihat dari hasil RSF yang tidak terdeteksi adanya mikroplastik setelah perlakuan (Tabel 5).

Dalam penelitian kami sebelumnya (Talvitie et al., 2017), tingkat latar belakang (kontaminasi) dalam sampel komposit terdiri lebih dari 30% dari hasil mikroliter aktual, yang berarti bahwa metode tersebut sensitif terhadap kontaminasi. Dalam penelitian ini, IPAL diminta untuk mengambil sampel komposit 24 jam dengan peralatan pemantauannya sendiri. Personel diinstruksikan untuk membilas peralatan secara menyeluruh dengan air keran dan selalu menutupinya. Terlepas dari upaya, kontaminasi mungkin menjelaskan nilai konsentrasi mikroplastik yang lebih tinggi setelah pengolahan DAF dan MBR dengan sampel komposit (Tabel 5) dibandingkan dengan sampel ambil volume besar (Tabel 4).

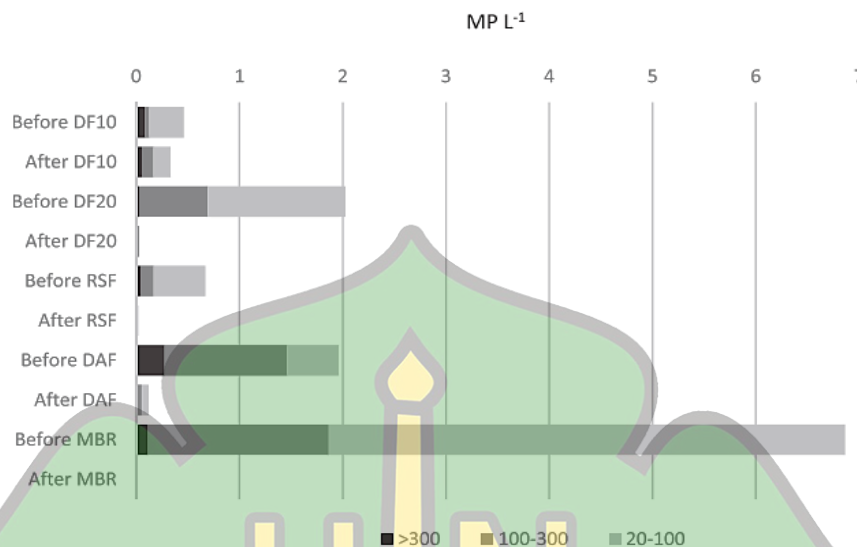
Tabel 2.5 Konsentrasi mikroplastik rata-rata sebelum dan sesudah pengolahan sesuai dengan sampel komposit 24 jam meliputi Saringan Pasir Cepat (RSF), Flotasi Udara Terlarut (DAF) dan Bioreaktor Membran (MBR). Data diberikan dalam jumlah limbah mikroplastik perliter.

<i>Treatment</i>	<i>Effluent Type</i>	<i>Before (MP/L⁻¹)</i>	<i>After (MP/L⁻¹)</i>	<i>Removal</i>
RSF	<i>Secondary</i>	0.4	<0.04	>90
DAF	<i>Secondary</i>	2.3	1.2	48
MBR	<i>Primary</i>	3.2	0.2 (<i>After CAS 0.5</i>)	94

Banyak IPAL yang menggunakan pengambil sampel komposit otomatis untuk memantau parameter yang berbeda dari air limbah. Pengambil sampel otomatis menyediakan protokol pengambilan sampel mikroplastik yang mudah dan cepat. Sampel komposit juga mencakup variasi dalam sehari, yang penting saat mengevaluasi jumlah total mikroplastik dalam limbah cair yang dibuang ke lingkungan (Talvitie et al., 2017). Namun, menurut hasil kami, volume sampel yang rendah bersama dengan konsentrasi mikroplastik yang rendah dan sensitivitas terhadap kontaminasi dapat dengan mudah menyebabkan perkiraan yang salah tentang konsentrasi mikroplastik dalam limbah. Studi terbaru menekankan perlunya metode standar dan sinkronisasi ketika mengevaluasi jumlah mikroplastik yang dibuang dari IPAL (Murphy et al., 2016; Mintenig et al., 2017; Ziajahromi et al., 2017).

2.3.2 Pengaruh ukuran dan bentuk MP pada penyisihannya dalam teknologi pengolahan yang berbeda

RSF, DAF dan MBR menghapus semua pecahan ukuran. DF juga menghilangkan semua fraksi ukuran, tetapi karena variasi antar ulangan, hasil harus ditangani dengan hati-hati. Sebelum pengolahan, di limbah primer atau sekunder, fraksi ukuran terkecil (20-100 μm) adalah yang paling melimpah di tiga dari empat IPAL (Gambar 1.). Temuan ini mendukung penelitian kami sebelumnya di mana sebelum pengolahan secara efisien menghilangkan fraksi ukuran yang lebih besar (>300 μm , 100-300 μm) dan fraksi ukuran terkecil (20-100 μm) menjadi paling melimpah (Talvitie et al., 2017). Hasil yang didapat perlunya teknologi tahap pengolahan akhir untuk menghilangkan mikroplastik berukuran kecil (<100 μm) dari air limbah. Berdasarkan hasil, kami juga menyarankan untuk memasukkan pecahan ukuran kecil (<100 μm) ke dalam pemeriksaan ketika mengevaluasi peran IPAL sebagai sumber titik mikroplastik ke lingkungan, karena mikroplastik yang lebih kecil tertinggal dalam limbah setelah proses pengolahan konvensional.



Gambar 2.1 Konsentrasi mikroplastik pada setiap fraksi ukuran (20-100 μm , 100-300 μm , > 300 μm) sebelum dan sesudah perlakuan. DF10 = Diskfilter dengan ukuran pori 10 μm , DF20 = Diskfilter dengan ukuran pori 20 μm , RSF = Saringan Pasir Cepat, DAF = Flotasi Udara Terlarut dan MBR = Bioreaktor Membran.

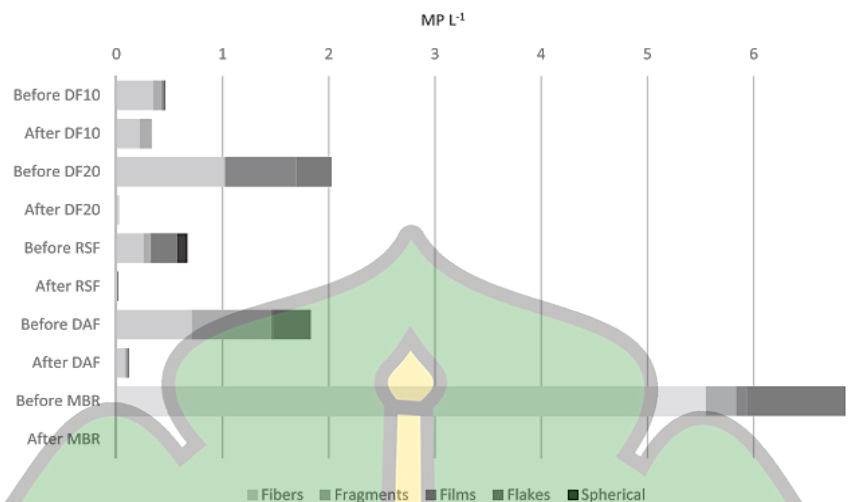
Semua bentuk mikroplastik disisih secara efisien selama pengolahan (Gambar 2.1). Serat terdiri dari mayoritas mikroplastik yang terdeteksi dalam sampel kami, dan berkontribusi pada 39-81% sebelum dan 29-100% setelah pengolahan total mikroplastik (Gambar 2.1) Sebagian besar serat yang memasuki IPAL dibuang selama fase sebelum pengolahan (Talvitie et al., 2015, 2017), namun sebagian dari serat tersebut juga melewati proses memasuki limbah cair. Oleh karena itu, tahap terakhir teknologi pengolahan harus mampu menghilangkan serat khususnya untuk secara efisien meningkatkan kapasitas penghilangan mikroplastik dari air limbah.

2.3.3 Analisis FTIR

Secara keseluruhan 13 polimer teridentifikasi: poliester (PES), polietilen (PE), polipropilen (PP), polistiren (PS), poliuretan (PU), polivinilklorida (PVC), poliamida (PA), akrilamida, poliakrilat, resin alkid, polifenilena oksida (PPO) dan ethylene vinyl acetates (EVA). PES mendominasi sampel (rata-rata 60%), diikuti

oleh PE (rata-rata 14%), poliakrilat (rata-rata 7%), PVC (rata-rata 5%), PS (rata-rata 4%) dan PP (rata-rata 3 %). Sebagian besar PES terdiri dari serat tekstil dan sebagian besar PE *microbeads*, berdasarkan bentuk dan ukurannya, kemungkinan besar berasal dari produk perawatan kulit (Fendall dan Sewell, 2009; Schneiderman, 2015; Talvitie et al., 2017). Diskfilter dan MBR menurunkan jumlah polimer selama pengolahan. Dalam studi mereka, Mintenig et al. (2017) juga mendeteksi penurunan yang jelas dalam jumlah polimer (dari 6 menjadi 3) selama postfiltrasi. Dalam studi ini, dengan RSF dan DAF, lebih banyak polimer terdeteksi setelah pengolahan (Tabel 6). Volume sampel terbesar (1000 L) diambil sampelnya setelah DAF dan RSF dan ada kemungkinan bahwa dengan volume yang lebih besar lebih banyak polimer langka terdeteksi, meningkatkan jumlah polimer yang terdeteksi. Polimer yang sama mungkin ada tetapi tidak terdeteksi dengan volume sampel yang lebih rendah sebelum pengolahan.

Beberapa penelitian sebelumnya mengandalkan identifikasi visual dari mikroplastik (Dris et al., 2015; Talvitie et al., 2015; Mason et al., 2016). Analisis mikroplastik berdasarkan identifikasi visual mengandung risiko mikroplastik yang berlebihan atau diabaikan karena kesalahan identifikasi partikel. Namun, persiapan sampel (misalnya, pencernaan, pewarnaan, dan ekstraksi) dapat mengurangi risiko kesalahan identifikasi (Mason et al., 2016). Sebagian besar studi melakukan analisis FTIR untuk mengkonfirmasi polutan mikroplastik, tetapi termasuk pra-seleksi visual dari partikel sebelum analisis (Carr et al., 2016; Murphy et al., 2016; Talvitie et al., 2017; Ziajahromi et al. al., 2017; penelitian ini) dan karena itu mengandung risiko yang diabaikan.



Gambar 2.2 Konsentrasi mikroplastik dalam kategori bentuk mikroplastik yang berbeda sebelum dan sesudah perlakuan. DF10 = Diskfilter dengan ukuran pori 10 μm , DF20 = Diskfilter dengan ukuran pori 20 μm , RSF = Saringan Pasir Cepat, DAF = Flotasi Udara Terlarut dan MBR = Bioreaktor Membran.

Mikro-FT-IR berbasis FPA baru-baru ini disarankan untuk metode analisis mikroplastik yang tidak bias untuk sampel lingkungan dan air limbah (Tagg et al., 2015; Loder et al., 2015; Mintenig et al., 2017). Dalam metode ini, seluruh filter (sampel yang telah diproses sebelumnya) dianalisis secara otomatis dan tidak diperlukan pemilihan awal visual. Ini memberikan keuntungan yang jelas dibandingkan dengan metode berdasarkan pemilihan awal visual. Namun, analisis filter keseluruhan tampaknya memakan waktu, terutama saat menganalisis sampel air limbah yang mengandung banyak partikel. Hal ini selanjutnya dapat menyebabkan kompromi seperti melakukan analisis parsial sampel untuk memproses analisis dalam waktu yang wajar (Mintenig et al., 2017). Pengembangan lebih lanjut dari analisis mikroplastik diperlukan, terutama untuk matriks yang menantang seperti air limbah,

mikroplastik primer dan sekunder dalam limbah akhir diperkirakan. Dalam limbah sekunder, setelah proses CAS, mikroplastik primer terdiri dari 19% dan mikroplastik sekunder 81% dari jumlah total mikroplastik. Setelah pengolahan tahap akhir lanjutan, dalam cairan akhir, angka yang sesuai adalah masing-masing 9% dan 91%. mikroplastik primer terutama terdiri dari *microbeads* dari produk

perawatan kulit dan mikroplastik sekunder dari serat tekstil sintetis dan potongan plastik yang terfragmentasi (Gambar 3.). Persentase mikroplastik sekunder sedikit meningkat seiring dengan tingkat pemurnian. Alasan untuk ini mungkin adalah lepasnya serat sintetis dari pengolahan, karena ukuran dan morfologinya yang kecil, yang memungkinkan serat sintetis melewati ukuran pori yang kecil.

Bagian mikroplastik primer dan sekunder dalam sampel limbah juga diperkirakan (hasil DF10 dikeluarkan dari pemeriksaan). Setelah proses CAS, dalam limbah sekunder, mikroplastik primer terdiri dari 19% dan mikroplastik sekunder 81% dari jumlah total mikroplastik. Setelah pengolahan tahap akhir lanjutan, pada limbah akhir, angka yang sesuai adalah masing-masing 9% dan 91%. mikroplastik primer terutama terdiri dari *microbeads* dari produk perawatan diri dan mikroplastik sekunder dari serat tekstil sintetis dan potongan plastik yang terfragmentasi (Gambar 3.). Proporsi mikroplastik sekunder sedikit meningkat dengan tingkat pemurnian seiring dengan peningkatan jumlah serat tekstil. Karena ukurannya yang kecil dan morfologinya, serat mungkin lebih mudah melewati pengolahan tahap akhir, dibandingkan dengan *microbeads* dari kosmetik.

Membagi mikroplastik menjadi partikel primer dan sekunder adalah perbedaan yang berguna karena dapat membantu menemukan sumbernya dan mengidentifikasi solusi untuk mengurangi masukannya ke lingkungan (GESAMP, 2015). Ketika mikroplastik memiliki bentuk dan warna yang berbeda, dimungkinkan untuk mengenalinya selama inspeksi visual dan karenanya memperkirakan sumbernya, seperti dalam kasus serat tekstil dan *microbeads* dari kosmetik. Pengetahuan tentang sumbernya memberikan kemungkinan untuk mengontrol kontaminasi mikroplastik sebelum masuk ke IPAL dan di lingkungan. Misalnya, perusahaan dan pemerintah sudah mulai mengatur dan melarang penggunaan *microbeads* dalam produk perawatan kulit (*Microbead-Free Waters Act*, 2015). Selain itu, filter untuk menghilangkan serat tekstil dari air limbah mesin cuci telah dikembangkan (Life + Mermaid, 2017). Namun, bahkan jika bagian dari mikroplastik yang memasuki IPAL dapat dihilangkan dengan solusi berdasarkan sumber, masih akan ada bagian yang signifikan dari mikroplastik

primer dan sekunder yang tidak dapat dikenali, yang akan tetap menjadi perhatian IPAL dimasa mendatang.

2.4 Kesimpulan

Semua teknologi pengolahan air limbah tahap akhir lanjutan yang termasuk dalam penelitian kami menghilangkan mikroplastik ($>20\text{ }\mu\text{m}$). MBR menurunkan 99,9% MP dari limbah primer dan juga memberikan konsentrasi mikroplastik terendah dalam limbah akhir. RSF menghilangkan 97%, DAF 95% dan DF 40-98,5% dari mikroplastik dari limbah sekunder selama pengolahan. Mengingat besarnya volume limbah yang terus-menerus dibuang ke lingkungan akuatik, polusi mikroplastik harus dipertimbangkan, saat merancang teknologi pengolahan air limbah tahap akhir lebih lanjut dan menerapkannya ke dalam IPAL. Perlakuan juga menghilangkan semua fraksi ukuran dan bentuk mikroplastik. Fraksi ukuran terkecil ($20\text{-}100\text{ }\mu\text{m}$) dan serat tekstil adalah jenis mikroplastik yang paling umum sebelum dan sesudah tahap pengolahan akhir. Ini menyoroti perlunya teknologi tahap akhir untuk menghilangkan mikroplastik berukuran kecil dan seperti serat dari limbah.



Tabel 2.6 Jumlah polimer yang berbeda dan persentasenya sebelum dan sesudah pengolahan air limbah lanjutan. DF 10 = Diskfilter dengan ukuran pori 10 μm , DF 20 = Diskfilter dengan ukuran pori 20 μm , RSF = Saringan Pasir Cepat, DAF = Flotasi Udara Terlarut dan MBR = Bioreaktor Membran.

Polymers	DF 10		DF 20		RSF		DAF		MBR	
	Before	After	Before	After	Before	After	Before	After	Before	After
PES (%)	75.36	66.67	45.89	100	18.16	28.38	24.10	82.24	70.08	100
PE (%)	14.49	33.33	0.66		30.99	1.86	47.08	12.01	3.42	
PP (%)			4.11		1.71	1.86	8.82	0.88	15.8	
PS (%)	2.9					26.53	8.54	1.68		
PU (%)			16.45					0.27	1.36	
PVC (%)			32.89		16.35	1.86		0.27	1.36	
PVA (%)	4.35				0.1		0.05			
Polyamide (%)	1.45						1.7	0.88	2.76	
Acrylamide (%)	1.45									
Polyacrylates (%)					32.07	26.53	9.71	0.88	4.40	
Alkyd Resin (%)						1.86		0.88	1.40	
PPO (%)						11.14				
EVA (%)									0.04	
Total Amount	6	2	5	1	6	8	7	9	9	1



Gambar 2.3 A dan B: Mikroplastik utama. *Microbeads* berasal dari produk perawatan kulit. C dan D: Mikroplastik Sekunder. Fragmen dari pemecahan plastik yang lebih besar dan serat tekstil sintetis.

Studi kami termasuk analisis FTIR yang komprehensif. Mikroplastik terbuat dari 13 polimer berbeda, dengan mayoritas ditentukan sebagai PES dan PE. Bagian mikroplastik sekunder sedikit meningkat seiring dengan tingkat pemurnian. Mikroplastik primer terutama terdiri dari *microbeads* dari produk perawatan diri dan mikroplastik sekunder dari serat tekstil sintetis dan potongan plastik yang terfragmentasi. Pengetahuan tentang sumber memberikan kemungkinan untuk mengontrol sumber pencemaran mikroplastik sebelum mereka memasuki IPAL.

Ucapan Terima Kasih

Penulis mengucapkan terima kasih kepada Viikinmaki, Kakolanmaki, Paroinen dan Kenkaveronniemi IPAL atas akses ke fasilitas mereka, menyediakan data latar belakang dan bantuan praktis dalam pengambilan sampel. Penulis juga mengucapkan terima kasih kepada laboratorium SIB di University of Eastern Finland yang telah menyediakan peralatan untuk analisis FTIR. Terima kasih khusus atas bantuan dan dukungan Antonina Kruglova, Ossi Talvitie, Mikko Selenius, Ritva Savolainen dan Jari Leskinen. Penelitian didanai oleh Maj and Tor Nessling Foundation (201600414).



BAB III

PEMBAHASAN

3.1 Data Jurnal dan Data Artikel

3.1.1 Identitas Jurnal Ilmiah

Tabel 3.1 Identitas Jurnal Ilmiah

Jurnal	<i>Water Research</i>
<i>City Score</i>	14.5
<i>Impact Factor</i>	9.130
<i>Source Normalized Impact per Paper (SNIP)</i>	2.542
<i>SCImago Journal Rank (SJR)</i>	2.932
<i>Abstracting and Indexing</i>	INSPEC
ISSN	0043-1354

3.1.2. Identitas Artikel

Tabel 3.2 Identitas Artikel

Judul Artikel Ilmiah	<i>Solutions to Microplastic Pollution - Removal of Microplastics from Wastewater Effluent with Advanced Wastewater Treatment Technologies</i>
Nomor	123
Tahun	2017
Halaman	401-407
Penerbit	ELSEVIER
Penulis	J. Talvitie et al
Institusi Penulis	<i>Department of Built Environment, Aalto University, PO Box 15200, FI-00076, Aalto, Finland</i>

3.2 State of The Art

State of The Art merupakan kumpulan jurnal yang digunakan sebagai referensi dalam penelitian ini. Pada *state of the art* ini diambil dari beberapa penelitian terdahulu sebagai panduan untuk penelitian yang akan dilakukan, yang kemudian dijadikan acuan dan perbandingan dalam melakukan penelitian saat ini. Berikut ini adalah *state of the art* yang dijabarkan dalam bentuk tabel:

No	Deskripsi Jurnal	Pembahasan
1	Judul : Microplastics in the wastewater treatment plants (WWTPs): Occurrence and removal Tahun : 2019 Peneliti : Xia Xu Yun Jiang Yingang Xue Qingtong Hou LiPing Wang Metode Penelitian : Kuantitatif Sampling, Observasi dan Identifikasi dan Anaisis Data Jurnal : Chemosphere	Dalam penelitian ini, limbah yang masuk dan keluar dari sebelas IPAL di Changzhou dikumpulkan dan dianalisis kelimpahan, ukuran, warna, dan bentuk MP yang masuk dan keluar. Kelimpahan rata-rata MP dalam influen dan limbah masing-masing adalah $196,00 \pm 11,89$ n/L dan $9,04 \pm 1,12$ n/L, dan efisiensi penyisihan MP dari sebelas IPAL hampir di atas 90% dan bisa mencapai 97,15%. MP dibagi menjadi empat ukuran partikel berdasarkan perubahan kelimpahan. MP dengan kelimpahan tertinggi berukuran 0,1-0,5 mm. MP yang ditemukan terutama berbentuk serat dalam air limbah, kemudian fragmen, serpihan, bola, dan film. Warna MP dalam air limbah bervariasi dan 14 jenis plastik dideteksi dari air limbah menggunakan <i>Attenuated Total Reflection Fourier Transform Infrared Spectroscopy</i> (ATR-FTIR). Selain itu, Rayon dan PET merupakan jenis polimer yang dominan

		di sebelas IPAL. Alasan Menjadi Tinjauan Penelitian : Menjadi pembanding hasil penyisihan MP pada IPAL
2	Judul : Microplastics in wastewater treatment plants: Detection, occurrence and removal Tahun : 2019 Peneliti : Jing Sun Xiaohu Dai Qilin Wang Mark C.M. van Loosdrecht Bing-Jie Ni Metode Penelitian : Kualitatif Jurnal : Water Research	Penelitian ini menunjukkan bahwa instalasi pengolahan air limbah (IPAL) merupakan penyumbang utama mikroplastik pada lingkungan. Sehingga perlu dilakukan deteksi mikroplastik dan pemahaman keberadaan di IPAL untuk pengendalian mikroplastik. Secara khusus, berbagai teknik yang digunakan untuk mengumpulkan mikroplastik dari air limbah dan lumpur limbah, serta metode pretreatment dan karakterisasinya ditinjau dan dianalisis. MP terdeteksi pada limbah masuk dan limbah keluar pada IPAL, konsentrasi MP yang ditemukan bervariasi, pada limbah masuk mulai dari 1 hingga 10044 partikel/L, dan pada limbah keluar mulai dari 0 hingga 447 partikel/L. MP yang paling umum terdeteksi adalah poliester, polietilen, polietilen tereftalat dan poliamida. Meskipun konsentrasi MP pada IPAL relatif rendah, namun total pembuangan MP dari IPAL memiliki nilai median yang besar yaitu 2×10^6 partikel/hari, sesuai dengan limbah tahunan rata-rata sebesar $5 \times 10^7 \text{ m}^3/\text{tahun}$.

		Alasan Menjadi Tinjauan Penelitian : Menggunakan metode yang mengacu pada jurnal <i>Solutions to Microplastic Pollution – Removal of Microplastics from Wastewater Effluent with Advanced Wastewater Treatment Technologies</i>
--	--	--

3.3 Kelebihan dari Penelitian

Kelebihan dari penelitian ini adalah menggunakan empat (4) macam teknologi pengolahan limbah akhir lanjutan untuk menentukan teknologi pengolahan manakah bisa menghilangkan mikroplastik ($>20\ \mu\text{m}$). Disini MBR mampu menurunkan 99,9% mikroplastik dari limbah primer dan juga memberikan konsentrasi mikroplastik terendah dalam limbah akhir.

3.4 Kekurangan dari Penelitian

Kekurangan dari penelitian ini adalah tidak semuanya dapat menghilangkan mikroplastik. Dimana korelasi yang jelas antara filtrasi tersier dan pelepasan mikropartikel yang berkurang tidak dapat dideteksi. Oleh karena itu masih diperlukan teknologi tahap akhir lanjutan khusus untuk menghilangkan mikroplastik berukuran kecil dan seperti serat secara efisien dan meningkatkan kapasitas penghilangan mikroplastik dari limbah.

3.5 Dampak dari Penelitian

Dengan adanya penelitian ini merupakan termasuk suatu tindakan untuk mengurangi pencemaran mikropastik di air limbah dengan memanfaatkan berbagai teknologi lebih lanjut pengolahan limbah akhir. Sehingga tingkat pencemaran mikroplastik tidak terus-menerus dibuang ke lingkungan akuatik dengan volume yang besar.

BAB IV

KESIMPULAN DAN SARAN

4.1 Kesimpulan

Penelitian ini menyelidiki penyisihan mikroplastik dari limbah di empat instalasi pengolahan air limbah kota yang berbeda dengan menggunakan teknologi pengolahan tahap akhir lanjutan yang berbeda-beda. Penelitian ini mencakup bioreaktor membran (MBR) yang mengolah limbah primer dan teknologi pengolahan tersier yang berbeda (diskfilter, filtrasi pasir cepat, dan flotasi udara terlarut) yang mengolah limbah sekunder.

Pada teknologi pengolahan MBR menghilangkan 99,9% mikroplastik selama perawatan (dari 6,9 hingga 0,005 MP L⁻¹), saringan pasir cepat 97% (dari 0,7 hingga 0,02 MP L⁻¹), flotasi udara terlarut 95% (dari 2,0 hingga 0,1 MP L⁻¹) dan diskfilter 40-98,5% (dari 0,5 - 2,0 hingga 0,03 - 0,3 MP L⁻¹) dari MP selama perawatan. Studi menunjukkan bahwa pengolahan air limbah tahap akhir dengan teknologi lebih lanjut, dapat mengurangi polusi mikroplastik yang dibuang dari pengolahan air limbah ke lingkungan akuatik.

4.2 Saran

Berikut ini beberapa saran yang direkomendasikan untuk arah perkembangan selanjutnya:

1. Pengembangan penelitian selanjutnya dapat diperdalam lagi dengan metode studi kasus (*case study*).
2. Perlunya metode standar dan kesesuaian ketika mengevaluasi jumlah mikroskop yang dibuang dari IPAL.

RIWAYAT HIDUP PENULIS



Cut Julianti lahir di Lhokseumawe pada tanggal 10 Juli 1996 dari pasangan Bapak T.Mardian dan Ibu Nurjasmaniar. Penulis adalah anak ketiga dari empat bersaudara. Penulis sekarang berdomisili di Punteuet, tepatnya pada Jln. Medan-Banda Aceh Desa Meunasah Mesjid Kecamatan Blang Mangat Kota Lhokseumawe. Pendidikan yang telah ditempuh oleh penulis yaitu Madrasah Ibtidayah Negeri (MIN) Peukan Cunda lulus pada Tahun 2008, Madrasah Tsanawiyah Negeri (MTsN) Lhokseumawe lulus pada Tahun 2011, dan Madrasah Aliyah Negeri (MAN) Lhokseumawe lulus pada Tahun 2014. Pada Tahun 2014 penulis melanjutkan pendidikan di Perguruan Tinggi Universitas Islam Negeri (UIN) Ar-Raniry Banda Aceh pada Program Studi Teknik Lingkungan Fakultas Sains dan Teknologi, penulis menyelesaikan kuliah Strata-1 (S1) pada tahun 2020.