

TESIS

**IDENTIFIKASI KELIMPAHAN MIKROPLASTIK DALAM TSP
(*Total Suspended Particulate*) DAN PM10 (*Particulate Matter*) DI
YOGYAKARTA**

**Diajukan Kepada Universitas Islam Indonesia untuk Memenuhi Persyaratan
Memperoleh Derajat Magister (S2) Teknik Lingkungan**



**IWAN ARDIYANTA
22927010**

**PROGRAM STUDI MAGISTER TEKNIK LINGKUNGAN
FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN
UNIVERSITAS ISLAM INDONESIA**

2024

TESIS

**IDENTIFIKASI KELIMPAHAN MIKROPLASTIK DALAM TSP
(Total Suspended Particulate) DAN PM10 (Particulate Matter) DI
YOGYAKARTA**

Diajukan Kepada Universitas Islam Indonesia untuk Memenuhi Persyaratan
Memperoleh Derajat Magister (S2) Teknik Lingkungan



IWAN ARDIYANTA
22927010

Disetujui,
Dosen Pembimbing:

Dr. Sophia Rahmawati, ST., M.T.
NIK. 155131313
Tanggal: 20/1/25

Dr. Norhidayah Binti Abdull
NIK.
Tanggal: 17/1/25

Mengetahui,

Ketua Prodi Magister Teknik Lingkungan FTSP UII



HALAMAN PENGESAHAN

IDENTIFIKASI KELIMPAHAN MIKROPLASTIK DALAM TSP (*Total Suspended Particulate*) DAN PM10 (*Particulate Matter*) DI YOGYAKARTA

Telah diterima dan disahkan oleh Tim Penguji

Hari : Selasa
Tanggal : 22 Oktober 2024

Disusun Oleh:

IWAN ARDIYANTA
22927010

Tim Penguji :

Dr. Suphia Rahmawati, ST., MT

Dr. Norhidayah Binti Abdull

Any Juliany, S.T., M.Sc. (Res. Eng.), Ph.D

Handwritten signatures and dates of the review team members:

- Signature: [Handwritten signature] 20/10/24
- Signature: [Handwritten signature] 20/10/24
- Signature: [Handwritten signature] 20/10/24

PERNYATAAN

Dengan ini saya menyatakan bahwa:

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

Yogyakarta, 22 Oktober 2024

Yang membuat pernyataan,



IWAN ARDIYANTA

NIM: 22927010

KATA PENGANTAR

Puji dan syukur penulis panjatkan kepada Alloh SWT atas berkah dan anugrah-Nya serta kasih sayang-Nya yang tidak henti-hentinya khususnya kepada penulis hingga saat ini, sehingga dapat menyelesaikan Tesis. Dalam penyusunan Tesis ini, penulis banyak menghadapi tantangan dan hambatan. Namun semua tantangan itu penulis dapat melewati berkat kerja keras, bantuan saudara-saudari, para pembimbing dan penguji, orang tua tercinta dan dengan izin Alloh SWT. Oleh karena itu, dengan segenap kerendahan hati penulis menyampaikan pengharagaan setingginya-tingginya dan ucapan terima kasih kepada :

1. Kedua orang tua penulis Bapak Triyono dan Ibu Legiyem yang telah bersedia dengan Ikhlas memberikan doa dan segala dukungannya yang tidak ternilai
2. Istri saya Devi Widiastuti dan kedua anak saya Danish Fatih Zainurrozaq dan Nazifa Salma Maheswari atas segala dukungan dan doa nya. Mohon maaf karena tidak dapat menemani belajarnya secara penuh selama ini.
3. Dosen pembimbing saya yaitu ibu Dr. Suphia Rahmawati. ST.,MT, selaku pembimbing utama dan Ibu Dr. Norhidayah Binti Abdull dari Faculty of Industrial Sciences and Technology, University Malaysia Pahang, Malaysia selaku pembimbing anggota. Terimakasih saya ucapkan atas segala bimbingan dan sarannya selama ini.
4. Ibu Any Juliany, S.T., M.Sc. (Res. Eng.), Ph.D selaku Ke.Prodi Jurusan Teknik Lingkungan sekaligus sebagai dosen penguji yang telah memberikan kritikan dan masukan dalam penyusunan Tesis.
5. Bapak Dr. Awaludin Nurmiyanto, S.T., M.Eng. selaku Ketua Jurusan Teknik Lingkungan, Bapak Dr. Andik Yulianto, S.T., M.T selaku Ka.Prodi Magister Teknik Lingkungan Universitas Islam Indonesia yang telah memberikan banyak bantuan yang tidak terhingga dan tentunya dukungannya kepada saya selama ini.
6. Bapak Ibu dosen semua di Prodi Teknik Lingkungan yang Insya Alloh selalu memberikan dukungan dan doanya buat kita semua.

7. Mahasiswa Magister Teknik Lingkungan khususnya Angkatan 1 yang telah bersama-sama berjuang. Terimakasih atas bantuan selama masa perkuliahan hingga proses seminar berlangsung dan sidang berlangsung
8. Teman-teman di Laboratorium Kualitas Lingkungan UII (Lek Tasyono, Mas Ridwan, Mas Bagus, Mbak Diah, Mbak Rina, Mbak Tika, Mbak Shinta, Mbak Nida, Mbak Aulia) senantiasa memberikan bantuan dari proses pengambilan data sampai dengan analisa data sehingga penyusunan tesis dapat berjalan dengan lancar.
9. Staf Prodi Teknik Lingkungan UII (Mas Heriyanto, Mbak Ratna), staf prodi Magister Teknik Lingkungan UII (Mas Asyrof) yang semuanya dengan sabar dan Ikhlas membantu saya dalam proses memperoleh kenjang pendidikan magister ini.
10. Saudara, keluarga, teman dan kerabat yang tidak dapat saya sebutkan satu persatu yang telah membantu dalam menyelesaikan tulisan ini.

Yogyakarta,

ABSTRAK

IDENTIFIKASI KELIMPAHAN MIKROPLASTIK DALAM TSP (Total Suspended Particulate) DAN PM10 (Particulate Matter) DI YOGYAKARTA

Fragmen dari plastik yang terdegradasi sering disebut dengan mikroplastik, yang memiliki ukuran partikel kurang dari 5 mm. Mikroplastik banyak ditemukan pada media yang cukup beragam, mulai dari tanah hingga sistem perairan (misalnya, lautan, sungai, garis pantai, dan rawa) dan juga pada saluran pencernaan vertebrata dan invertebrata. Kebanyakan penelitian hingga saat ini masih banyak berfokus pada lingkungan perairan/lautan. Namun, perhatian kepada kondisi dan lingkungan lain semakin diperhatikan dari waktu ke waktu. Udara merupakan jalur yang penting dilalui material tersuspensi untuk berpindah secara regional atau global. Mikroplastik di udara dapat terhirup dan tertelan oleh manusia oleh karena itu pentingnya dilakukan penelitian untuk mengidentifikasi jumlah, warna dan karakteristik mikroplastik pada udara ambien di kawasan Yogyakarta. Dalam penelitian ini sepuluh lokasi di Yogyakarta dipilih untuk dijadikan sampel dengan variasi jarak dan kemungkinan sumber mikroplastik di kawasan yang berbeda. Metode penentuan pengambilan contoh uji menggunakan SNI 19-7119.6-2005 sedangkan sampel udara diperoleh dengan menangkap partikel udara TSP dengan alat HVAS metode SNI 7119-3 : 2017 dan PM10 dengan metode SNI 7119.15 : 2016, kemudian untuk menganalisis jumlah, bentuk, ukuran dan warna mikroplastik menggunakan metode pengamatan visual dengan menggunakan Mikroskop digital dan SEM (scanning Electron Microscope) serta FTIR untuk melihat karakteristik dari mikroplastik. Keragaman bentuk Mikroplastik diidentifikasi termasuk serat dan fragmen. Dari semua lokasi sampel mikroplastik yang didapatkan dalam TSP dan PM10 berdasarkan jenis teridentifikasi menjadi 3 jenis yaitu fragmen, fiber dan film sedangkan pellet tidak ditemukan disemua lokasi, identifikasi mikroplastik berdasarkan warna diperoleh 9 warna yaitu hitam, transparan, coklat, merah, hijau, ungu, biru, orange, kuning. jenis mikroplastik pada polutan TSP paling tinggi adalah jenis fragmen (444 partikel) dengan lokasi pada aktivitas transportasi yaitu terminal Jombor dan untuk PM10 jenis mikroplastik paling banyak adalah Film (319 partikel) dengan lokasi di terminal Giwangan. Prosentase kelimpahan berdasarkan tipe mikroplastik pada parameter TSP paling tinggi adalah fragmen (41%)>film (34%)>fiber(25%) untuk semua lokasi sampling, sedangkan jenis paling dominan untuk parameter PM10 adalah jenis film (41%)>fragmen (37%)> fiber (22%). Hasil prosentase jenis mikroplastik tersebut fragmen dan film mendominasi di kawasan wilayah studi Yogyakarta. Rentang kisaran kelimpahan mikroplastik di semua lokasi adalah TSP (92,74 – 560,8 partikel/m³), sedangkan PM10 berkisar antara (111,77 – 460 partikel/m³). Hasil FTIR mendapatkan berbagai jenis polymer PE (Polyethylene), HDPE (High Density Polyethylene), PET (Polyethylene Terephthalate), PVC (Polyvinyl Chloride) dan PP (Polypropilene) dalam bentuk fragmen yang paling dominan

Kata kunci : kualitas udara, mikroplastik, PM10, TSP, transportasi, Yogyakarta.

ABSTRACT

IDENTIFICATION OF ABUNDANCE MICROPLASTICS IN TSP (Total Suspended Particulate) and PM10 (Particulate Matter) On YOGYAKARTA

Fragments of degraded plastic are often referred to as microplastics, which have particle sizes of less than 5 mm. Microplastics are commonly found in a variety of media, ranging from soil to aquatic systems (such as oceans, rivers, coastlines, and wetlands) and also in the digestive tracts of vertebrates and invertebrates. Most research to date has still largely focused on aquatic/ocean environments. However, attention to other conditions and environments is increasingly being given over time. Air is an important pathway for suspended materials to move regionally or globally. Microplastics in the air can be inhaled and ingested by humans, therefore it is important to conduct research to identify the quantity, color, and characteristics of microplastics in the ambient air in the Yogyakarta area. In this study, ten locations in Yogyakarta were selected as samples with varying distances and potential sources of microplastics in different areas. The method for determining the sampling of test samples uses SNI 19-7119.6-2005, while air samples are obtained by capturing TSP air particles with the HVAS tool using the Methode SNI 7119-3: 2017 and PM10 with the methode SNI 7119.15: 2016. Then, to analyze the quantity, shape, size, and color of microplastics, visual observation methods are used with a digital microscope and SEM (Scanning Electron Microscope), as well as FTIR to observe the characteristics of microplastics. The diversity of microplastic forms identified includes fibers and fragments. From all the microplastic sample locations obtained in TSP and PM10, based on type, three types were identified: fragments, fibers, and films, while pellets were not found at any location. Microplastic identification based on color revealed 9 colors : black, transparent, brown, red, green, purple, blue, orange, and yellow. The highest type of microplastic in TSP pollutants is fragments (444 particles) located at the Jombor terminal, and for PM10, the most common type of microplastic is film (319 particles) located at the Giwangan terminal. The abundance percentage based on the type of microplastic in the TSP parameter is highest for fragments (41%) > films (34%) > fibers (25%) across all sampling locations, while the most dominant type for the PM10 parameter is films (41%) > fragments (37%) > fibers (22%). The percentage results of these microplastic types show that fragments and films dominate the study area in Yogyakarta. The range of microplastic abundance at all locations is TSP (92.74 – 560.8 particles/m³), while PM10 ranges from (111.77 – 460 particles/m³). The FTIR results obtained various types of polymers: PE (Polyethylene), HDPE (High Density Polyethylene), PET (Polyethylene Terephthalate), PVC (Polyvinyl Chloride), and PP (Polypropylene) in the form of the most dominant fragments.

Keywords: air quality, microplastics, PM10, TSP, transportation, Yogyakarta.

DAFTAR ISI

TESIS.....	i
HALAMAN PENGESAHAN.....	iii
DAFTAR ISI.....	ix
DAFTAR GAMBAR.....	xi
BAB I.....	1
PENDAHULUAN.....	1
1.1 Latar belakang	1
1.2 Rumusan masalah	3
1.3 Tujuan penelitian	4
1.4 Hipotesis.....	4
1.5 Ruang lingkup penelitian	4
BAB II	6
TINJAUAN PUSTAKA	6
2.1 Pencemaran udara	6
2.2 Parameter kualitas udara	7
2.2.1 Total Suspended Particulate (TSP).....	7
2.2.2 Particulate Matter (PM).....	8
2.2.3 Faktor meteorologi.....	9
2.3 Mikroplastik	12
2.3.1 Karakteristik mikroplastik.....	12
2.3.2 Mekanisme mikroplastik ke udara.....	18
2.3.3 Bahaya dan dampak mikroplastik.....	19
2.4 Penelitian terdahulu	20
BAB III.....	22
METODE PENELITIAN.....	22
3.1 Waktu dan lokasi penelitian	22
3.1.1 Aktivitas transportasi	22
3.1.2 Kawasan wisata	23
3.1.3 Kawasan permukiman.....	24
3.2 Persiapan sampling (pengambilan contoh uji).....	29

3.3	Pengambilan sampel	30
3.3.1	Pengambilan sampel TSP dan PM10	30
3.3.2	Pengukuran sampel meteorologi.....	32
3.4	Pengendalian mutu.....	33
3.4.1	Kalibrasi alat HVAS	33
3.4.2	Uji blanko.....	33
3.5	Prosedur analisis sampel	34
3.5.1	Analisis TSP dan PM10	34
3.5.2	Analisis karakteristik mikroplastik	35
3.5.3	Identifikasi mikroplastik	37
3.6	Analisis data	40
3.6.1	Analisis deskriptif, kuantitatif	40
3.6.2	Analisis korelasi.....	41
BAB IV	43
4.1	Konsentrasi TSP dan PM10	43
4.2	Faktor Meteorologi	46
4.2.1	Pengaruh suhu udara	46
4.2.2	Pengaruh kelembaban udara.....	48
4.2.3	Pengaruh kecepatan udara	50
4.2.4	Pengaruh arah angin.....	52
4.3	Analisis Mikroplastik.....	54
4.3.1	Kelimpahan mikroplastik	54
4.3.2	Jenis mikroplastik	57
4.3.3	Warna mikroplastik.....	60
4.3.4	Ukuran mikroplastik	65
4.4	Perbandingan penelitian sebelumnya.....	68
4.5	Deteksi mikroplastik menggunakan FTIR	69
4.6	Analisis hubungan mikroplastik dengan konsentrasi TSP dan PM10	72
BAB V	73
5.1	Kesimpulan.....	73
5.2	Saran	74
DAFTAR PUSTAKA	75

DAFTAR TABEL

Tabel 2.3.1 Pembagian tipe, warna dan sumber mikroplastik	13
Tabel 2.4 Penelitian terdahulu	20
Tabel 3.1 Deskripsi lokasi sampling.....	26
Tabel 3.2.1 Alat dan bahan sampling.....	29
Tabel 3.2.2 Alat dan bahan analisis	29
Tabel 4.1.1 Korelasi antara konsentrasi TSP dengan PM10.....	45
Tabel 4.1.2 Penelitian terdahulu pengaruh faktor meteorologi terhadap PM10.....	46
Tabel 4.2.1 Korelasi konsentrasi TSP dan PM10 dengan suhu	47
Tabel 4.2.2 Korelasi konsentrasi TSP dan PM10 dengan kelembaban	49
Tabel 4.2.3 Korelasi kecepatan angin dan konsentrasi TSP dan PM10.....	51
Tabel 4.3.4 Ukuran mikroplastik pada TSP dan PM10 dibandingkan penelitian lain	68
Tabel 4.4 Perbandingan penelitian sebelumnya.....	69
Tabel 4.5 Hasil analisis FTIR	69
Tabel 4.6 Korelasi kelimpahan mikroplastik TSP, PM10 dengan konsentrasi TSP, PM10	72

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.3.1 Menunjukkan bentuk, warna dan tipe mikroplastik	15
Gambar 3.1 Lokasi penelitian dan titik sampling	255
Gambar 3.2 Prosedur pengambilan sampel	30
Gambar 3.5.2 Analisis sampel mikroplastik	36
Gambar 3.5.3 Prinsip spektroskopi FTIR	39
Gambar 4.1.1 Konsentrasi TSP dan PM10 dibandingkan dengan baku mutu	43
Gambar 4.1.2 Hubungan konsentrasi TSP dan PM10 di semua lokasi	44
Gambar 4.2.1 Hubungan suhu dengan konsentrasi TSP dan PM10 di semua lokasi	47
Gambar 4.2.2 Hubungan kelembaban udara dengan konsentrasi TSP dan PM10 di semua lokasi	49
Gambar 4.2.3 Hubungan kecepatan angin dengan konsentrasi TSP dan PM10 di semua lokasi	500
Gambar 4.2.4 Arah angin dominan di lokasi sampling	52
Gambar 4.3.1.1 Kelimpahan mikroplastik TSP dan PM10	54
Gambar 4.3.1.2 Rasio jumlah mikroplastik dengan konsentrasi TSP dan PM10	55
Gambar 4.3.2.1 Jenis mikroplastik	57
Gambar 4.3.2.2 Komposisi mikroplastik berdasarkan jenis pada parameter TSP dan PM10	58
Gambar 4.3.2.3 Prosentase jenis mikroplastik parameter TSP dan PM10	60
Gambar 4.3.3.1 Warna mikroplastik	61
Gambar 4.3.3.2 Komposisi warna mikroplastik pada lokasi studi	63
Gambar 4.3.3.3 Prosentase warna mikroplastik pada semua lokasi sampling	64
Gambar 4.3.4.1 Identifikasi mikroplastik TSP dan PM10 menggunakan mikroskop ...	66
Gambar 4.3.4.2 Identifikasi mikroplastik TSP dan PM10 menggunakan SEM	67
Gambar 4.5 Contoh hasil uji FTIR	70

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar belakang

Udara sangat penting bagi keberadaan segala bentuk kehidupan. Dampak buruk polusi udara terhadap manusia dan alam sudah terdokumentasi dengan baik (Sari et al, 2020). Ketika ada zat berbahaya seperti rokok, gas, debu, dan sebagainya di udara, maka hal itu disebut polusi udara (Ibrahim et al, 2022). Bahaya kesehatan manusia dan kerusakan ekologi dapat diakibatkan oleh pencemaran udara (Rizqiyah & Rosyida, 2021).

Salah satu polutan yang menurunkan kualitas udara adalah Total Suspended Particulate (TSP). Partikel kurang dari 100 μ yang disebut TSP berpotensi menyusup ke sistem pernafasan, mendarat di paru-paru dan menyebabkan iritasi dan gangguan pernafasan. Selain itu molekul kimia berbahaya dapat diserap oleh partikel debu, sehingga partikel tersebut mengangkut zat yang berpotensi berbahaya (Wahyuni et al., 2021). Kehidupan manusia di dalam dan diluar ruangan terancam oleh polusi udara yang disebabkan oleh TSP (Palureng, 2022).

Polutan yang dikenal dengan nama TSP mencakup mikroplastik yang dilepaskan ke udara akibat lalu lintas jalan raya. Menurut (Dzihnina et al, 2023) mikroplastik adalah partikel yang berukuran kurang dari 5 mm. Ukuran mikroplastik yang sangat kecil juga memungkinkan terjadinya transportasi ke jaringan organ lain (Hollman et al., 2013). Mikroplastik dapat mengandung polutan yang berada di lingkungan, seperti logam berat dan bahan kimia beracun, sehingga sangat berbahaya apabila dicerna oleh organisme (Wang et al, 2018).

Selain TSP, particulate matter atau PM10 juga merupakan sumber polutan udara lainnya, PM10 adalah partikel-partikel halus di udara yang berukuran 10 mikrometer atau lebih kecil. Polutan ini umumnya berasal dari aktivitas manusia seperti pembakaran bahan bakar fosil, industri, konstruksi, dan transportasi, serta dari sumber alami seperti debu dan kebakaran hutan (Abbasi et al, 2019). Karena ukurannya yang sangat kecil, PM10 dapat terhirup ke dalam sistem pernapasan manusia dan menyebabkan berbagai masalah kesehatan, terutama pada sistem pernapasan dan kardiovaskular. Dalam beberapa tahun terakhir, ditemukan juga bahwa PM10 dapat bertindak sebagai pembawa mikroplastik.

Mikroplastik ini melekat pada partikel PM10 atau bahkan merupakan bagian dari partikelnya sendiri. Dengan demikian, ketika partikel PM10 dihirup, mikroplastik juga dapat masuk ke dalam tubuh. Hal ini memperluas risiko kesehatan dari PM10, karena selain dampak partikel debu atau polusi industri, tubuh juga terpapar potensi dampak berbahaya dari mikroplastik yang terbawa ke organ-organ dalam (Liu et al, 2019). Keberadaan mikroplastik di udara kemungkinan terbawa oleh partikel-partikel PM10. Mikroplastik berukuran kecil dapat terikat pada partikel PM10 dan terhirup oleh manusia (Chen., et al 2020).

Penyebaran mikroplastik di udara disebabkan karena angin yang kemudian menjadi dust fall atau debu jatuh. Mikroplastik dapat mengikat molekul organik, organik anion, aromatik grup, zat adiktif dan logam berat. Mikroplastik memiliki ikatan terbuka mengakibatkan mikroplastik memiliki dampak negatif yaitu dapat melepaskan zat racun atau bertindak sebagai pembawa senyawa organik dan pathogen lainnya yang berpotensi dapat menyebabkan kerusakan di lingkungan dan kesehatan manusia (Mei et al, 2020).

Ketika mikroplastik terhirup oleh manusia dalam jangka waktu lama dapat merusak sistem pernafasan seperti penyumbatan pada organ pernafasan (Gasperi et al, 2018). Selain itu juga akan memiliki beberapa dampak bagi kesehatan manusia seperti ; gangguan pernafasan, *dyspnea* (sesak nafas), batuk, penyakit kardio vascular hingga kanker paru-paru (Karbalaie et al, 2018).

Meskipun indra pernafasan manusia memiliki semacam penyaring untuk mencegah beberapa partikel yang lebih besar masuk, namun bentuk dan ukuran dari mikroplastik sangat kecil (Gasperi et al, 2018). Mikroplastik di udara dapat berasal dari ban, bitumen, dan cat marka jalan (Syafei et al, 2019). Sekitar 90-95% mikroplastik yang berada di permukaan jalan memiliki potensi tertransportasi ke media tanah, air permukaan dan lautan melalui proses limpasan air hujan. Ketika berpindah ke lingkungan akuatik, penanganannya akan menjadi sulit karena 90% dari partikel mikroplastik akan terdeposit di dalam sedimen. Oleh karena itu, mikroplastik dalam debu jalan harus ditangani sebelum mengalami transportasi ke media lingkungan lainnya (Kang et al, 2022).

Yogyakarta merupakan provinsi berpenduduk tinggi dengan 3.677.446 jiwa (BPS), memiliki luas 32,5 Km² dan merupakan salah satu tujuan wisata utama di Indonesia dengan jumlah wisatawan sebanyak 4.378.609, melebihi jumlah penduduk kota Yogyakarta. Selain menjadi kota wisata, Yogyakarta juga merupakan kota pelajar yang

menyumbang tingginya kepadatan penduduk. Jumlah dari wisatawan, pelajar dan penduduk di kota Yogyakarta dengan bertambahnya penduduk tersebut akan menambah jumlah kendaraan di jalan begitu pula akan meningkatkan polusi udara di kota Yogyakarta.

Penelitian mengenai TSP dan PM10 pernah dilakukan di berbagai kota di Indonesia dan luar negeri. Penelitian yang dilakukan di Surabaya oleh (Syafei et al, 2019) mengungkapkan bahwa aktivitas transportasi di jalan raya dapat memicu terbentuknya mikroplastik. Studi mengenai mikroplastik di udara terkait dengan *Total Suspended Particulate* (TSP) juga dilakukan oleh (Hung et al, 2023) menemukan sumber utama dari mikroplastik adalah abrasi ban, industri tekstil dan limbah plastik, sedangkan penelitian mengenai mikroplastik pada *Particulate Mater* (PM10) oleh (Akhbarizadeh et al, 2021), (Abbasi et al, 2023) sumber utama mikroplastik dari ban kendaraan, pakaian sintetis dan polusi perkotaan. Selain itu, dengan adanya faktor pergerakan angin dan disposisi mikroplastik di udara menyebar mengikuti aliran penyebaran debu hingga ke tempat terpencil di dunia (Brahney et al, 2020).

Penyebaran polusi mikroplastik berkaitan erat dengan polusi udara lain sehingga dapat juga merupakan parameter dalam penilaian keberadaan dan risiko kesehatan yang terkait dengan paparan polutan udara, salah satunya adalah parameter debu yaitu TSP (*Total Suspended Particulate*) dan PM10 (*Particulate Matter*). Oleh karena itu, studi terkait identifikasi dan kelimpahan mikroplastik di kota Yogyakarta perlu dilakukan. Diharapkan dengan studi ini informasi lebih lanjut tentang morfologi, kelimpahan dan keberadaan mikroplastik yang berhubungan dengan kualitas udara di kota Yogyakarta terutama pada parameter TSP dan PM10 di berbagai lokasi seperti jalan raya, terminal, tempat wisata dan permukiman dapat untuk referensi penerapan kebijakan mengenai peraturan tentang kualitas udara dan pencemaran yang berhubungan dengan mikroplastik.

1.2 Rumusan masalah

Yogyakarta sebagai kota wisata, pelajar dan tingkat pertumbuhan penduduk yang tinggi mempunyai sumber pencemar udara yang berasal dari transportasi dan lain sebagainya diantaranya adalah debu TSP, PM10 dan mikroplastik sehingga apakah terjadi perbedaan konsentrasi TSP dan PM10 serta kelimpahan mikroplastik di berbagai lokasi di Yogyakarta.

1.3 Tujuan penelitian

Adapun tujuan dari penelitian ini adalah

1. Analisis konsentrasi TSP, PM10, serta keterkaitan dengan parameter suhu, kelembaban, arah angin di berbagai lokasi di Yogyakarta yaitu jalan raya, terminal, tempat wisata dan permukiman.
2. Keberadaan dan karakteristik mikroplastik yang terdapat pada TSP dan PM10 dalam udara ambien di Yogyakarta.
3. Analisis keterkaitan antara konsentrasi TSP dan PM10 terhadap kelimpahan mikroplastik

1.4 Hipotesis

Hipotesis studi ini adalah:

1. Terdapat hubungan antara konsentrasi TSP dan PM10 dengan kelimpahan mikroplastik di kota Yogyakarta.
2. Terdapat hubungan faktor meteorologi berpengaruh terhadap kelimpahan mikroplastik

1.5 Ruang lingkup penelitian

Ruang lingkup atau batasan penelitian ini adalah:

1. Pengambilan sampel hanya dilakukan 1 kali dalam setiap lokasi penelitian dikarenakan keterbatasan peralatan.
2. Pengambilan sampel hanya dilakukan pada 1 musim saja yaitu musim kemarau dan pada lokasi jalan (ringroad barat, ringroad selatan, ringroad timur dan ringroad utara), Terminal (terminal Jombor dan terminal Giwangan) sebagai perwakilan aktivitas transportasi, tempat wisata (Tugu dan Malioboro), Permukiman (boulevard UII, Jetis Bantul).
3. Metode pengambilan dan analisis sampel menggunakan Standar Nasional Indonesia yaitu SNI 7119.3:2017 Tentang Cara Uji Partikel Tersuspensi Total Menggunakan peralatan High Volume Air Sampler (HVAS) dengan Metode Gravimetri, PM10 menggunakan Peralatan High Volume Air Sampler (HVAS) dengan Metode Gravimetri, SNI 7119.15:2016 Tentang Cara Uji

Partikel Dengan Ukuran $\leq 10 \mu\text{m}$ dengan Metode Gravimetri. Serta studi dari (Akhbarizadeh Razegheh et al, 2021) untuk kelimpahan mikroplastik.

4. Identifikasi kelimpahan, bentuk, warna, jenis polimer mikroplastik menggunakan mikroskop, SEM dan FTIR-ATR

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Pencemaran udara

Menurut undang-undang nomor 41 tahun 1999 tentang Pengendalian Pencemaran udara, ketika suatu bahan yang berpotensi membahayakan dilepas ke udara akibat aktivitas manusia dan menurunkan kualitas udara, hal ini disebut dengan pencemaran udara. Penyebab alami pencemaran udara seperti letusan gunung berapi dan aktivitas manusia seperti emisi kendaraan dan industri merupakan dua kategori utama pencemaran udara. Ada dua sub tipe polusi udara yaitu yang terjadi di dalam gedung yang disebut juga polusi dalam ruangan dan yang terjadi di luar gedung yang disebut polusi luar ruangan (Gindo & Hari., 2007). Menurut BPLH (Badan Pengelola Lingkungan Hidup) DKI Jakarta tahun 2013 di wilayah kota besar 60–70% polusi udara berasal dari gas buang mobil. Sedangkan gas buang cerobong industri hanya menyumbang 10-15% polusi udara, sisanya berasal dari berbagai sumber pembakaran termasuk peralatan rumah tangga, pembakaran sampah, kebakaran hutan dan banyak lagi.

Pembangunan perkotaan dan peningkatan jumlah penduduk di Yogyakarta berdampak terhadap kualitas udara. Ditemukan bahwa urbanisasi dan pertumbuhan penduduk yang cepat meningkatkan aktivitas transportasi, yang menjadi salah satu penyumbang utama pencemaran udara (Lestari et al, 2018). urbanisasi yang tinggi di Yogyakarta mengarah pada penggunaan lahan yang padat dan kurang terencana, yang berdampak langsung pada peningkatan pencemaran udara (Setiawan et al, 2017).

Salah satu parameter kualitas udara adalah jumlah partikulat di dalamnya yang terbagi berdasarkan ukuran partikel diantaranya adalah TSP dan PM10. Total Suspended Particulate (TSP) yaitu partikulat dengan ukuran partikulat kurang dari 100 μm . Jumlah partikulat tersuspensi TSP adalah partikulat kecil di udara seperti debu, fume, dan asap dengan diameter kurang dari 100 μm yang dihasilkan dari kegiatan konstruksi, pembakaran, dan kendaraan. Partikulat ini dapat terdiri atas zat organik dan anorganik. Partikulat organik dapat berupa mikroorganisme seperti virus, spora dan jamur yang melayang di udara (Santiasih et al, 2012). Sedangkan PM 10 adalah partikel-partikel halus di udara yang berukuran 10 mikrometer atau lebih kecil. Polutan ini umumnya berasal dari aktivitas manusia seperti pembakaran bahan bakar fosil, industri, konstruksi,

dan transportasi, serta dari sumber alami seperti debu dan kebakaran hutan (Abbasi et al, 2019). Karena ukurannya yang sangat kecil, PM10 dapat terhirup ke dalam sistem pernapasan manusia dan menyebabkan berbagai masalah kesehatan, terutama pada sistem pernapasan dan kardiovaskular.

Berdasarkan penelitian oleh Badan Internasional untuk Penelitian Kanker (IARC) baru-baru ini menyimpulkan bahwa paparan terhadap polusi udara luar ruangan dan partikulat (PM) di udara luar ruangan bersifat karsinogenik bagi manusia (IARC Kelompok 1 dan menyebabkan kanker paru-paru (Loomis et al, 2013) dalam penelitian tersebut IARC menyebutkan bahwa epidemiologi tentang paparan perumahan jangka panjang terhadap polusi udara luar ruangan dalam hal PM memainkan peran penting. Faktor meteorologi seperti suhu, kelembaban, kecepatan angin, dan kondisi cuaca pada udara ambien secara signifikan mempengaruhi konsentrasi TSP dan PM10. Faktor meteorologi seperti suhu tinggi dan kelembaban rendah meningkatkan polusi TSP dan PM10 dengan memfasilitasi pembentukan dan penumpukan partikel di udara, sementara kecepatan angin tinggi dapat menyebarkan partikel tersebut tetapi juga dapat meningkatkan resuspensi dari tanah. Di musim dingin atau saat inversi suhu, polutan terperangkap di lapisan atmosfer rendah, sehingga konsentrasi polutan meningkat.

2.2 Parameter kualitas udara

2.2.1 Total Suspended Particulate (TSP)

TSP merupakan partikulat udara seperti debu, asap, dan *fume* dengan diameter kurang dari 100 μm (Rochimawati et al, 2014). Semua partikulat tersebut bertanggung jawab atas efek kesehatan manusia karena partikulat tersebut dapat menjangkau daerah pernapasan dalam (Alias et al, 2007). Meningkatnya konsentrasi *Total Suspended Particulate* (TSP) di udara sekitar disebabkan oleh berbagai kegiatan manusia seperti pertambangan, transportasi, pembersihan tanah, pembangunan pemukiman, konversi lahan, penggundulan hutan dan lainnya. Diameter partikel TSP adalah 100 mikrometer. Kesehatan manusia mungkin terkena dampak negatif dari peningkatan kadar TSP di udara (Rizky., 2019). TSP merupakan indikator pertama yang digunakan untuk mewakili partikulat tersuspensi udara ambien. TSP dapat memberikan efek terhadap kesehatan manusia karena dapat menjangkau saluran pernapasan manusia hingga bagian kerongkongan (Alias et al, 2007).

Sumber utama emisi TSP adalah asap dari kegiatan konstruksi, kendaraan bermotor,

pembakaran, dan lain-lain (Tiara et al, 2016). Parameter debu seperti TSP menjadi penting dalam kualitas udara ambien, jika konsentrasi TSP melebihi standar maka akan menyebabkan beragam efek negatif yang serius, baik untuk kesehatan, ekonomi dan aspek lingkungan (Zhou, 2010). Selain itu partikulat dapat menyebabkan perubahan radiasi matahari di atmosfer yang diserap oleh bumi permukaan (Mahankale, 2009). Monitoring TSP digunakan untuk menentukan jumlah total partikulat tersuspensi yang ada di atmosfer. TSP diukur menggunakan *High Volume Air Sampler* (HVAS) dengan laju alir kurang lebih 1 m^3 yang mengalir melalui saringan selama 24 jam.

Di Indonesia peraturan tentang baku mutu udara ambien mengacu pada PP Nomor 22 Tahun 2021 Penyelenggaraan Perlindungan dan Pengelolaan Lingkungan Hidup dimana nilai baku mutu untuk TSP adalah $230 \mu\text{g}/\text{Nm}^3$ sedangkan $75 \mu\text{g}/\text{Nm}^3$ untuk parameter PM10 dengan durasi waktu pengukuran 24 jam yang tertuang di lampiran VII peraturan tersebut.

2.2.2 *Particulate Matter (PM)*

PM10 (*Particulate Matter*) merupakan merupakan partikulat udara dalam wujud padat yang berdiameter kurang dari $10 \mu\text{m}$ (Wei et al, 1999). Zat anorganik yang teridentifikasi pada PM10 memiliki kemampuan untuk memasuki daerah pernapasan dan dapat mencapai paru-paru (Zereini dan Wiseman, 2010). PM10 dan polutan lain dapat membentuk campuran partikulat yang lebih kompleks, debu, dan gas yang dihasilkan oleh proses pembakaran pada kendaraan. Paparan PM10 dalam jangka panjang dapat menyebabkan resiko kematian, kardiopulmonari, dan kanker paru-paru (World Health Organization., 2006). PM merupakan salah satu polutan yang ada di udara. Polutan ini merupakan partikulat halus yang memiliki dampak berbahaya bagi Kesehatan manusia dibandingkan polutan lainnya. Campuran partikel padat dan cair yang tersuspensi di udara tersebut merupakan istilah dari PM. Partikel tersuspensi ini memiliki ukuran, komposisi, dan asal yang berbeda-beda (Cholianawati., 2019).

Partikulat dibagi menjadi partikulat kasar (*coarse*) atau PM10 yang memiliki ukuran berdiameter $<10 \mu\text{m}$ dan partikulat halus (*fine*) atau PM2,5 yang memiliki ukuran berdiameter $< 2,5 \mu\text{m}$ menurut ukurannya di atmosfer. Apabila partikulat PM2,5 ini masuk ke tubuh manusia maka tidak dapat tersaring oleh sistem pernapasan atas yang mengakibatkan partikulat ini masuk hingga paru-paru bagian dalam lalu kandungannya dapat masuk ke aliran darah (Cholianawati., 2019). PM10 tentu juga dapat menyebabkan

gangguan kesehatan manusia khususnya pada kesehatan saluran pernafasan.

Campuran yang terdapat pada PM adalah unsur fisika dan kimia yang bermacam-macam tergantung sumbernya. Paling banyak ditemukan diantaranya ion sulfat, ion nitrat, ion ammonium, ion inorganic (sodium, kalsium, potassium, magnesium, dan klorida), ion organic, elemen karbon, material padat, partikel air, logam (tembaga, nikel, cadmium, vanadium, dan seng), dan hidrokarbon aromatik poliksilik. Unsur biologi berupa allergen dan senyawa bakteri pun ditemukan pada PM. Kegiatan manusia dan sumber alami merupakan sumber PM yang paling umum, tetapi terdapat juga sumber kontribusi lainnya yang berasal dari tanah dan debu (Agus et al, 2019). Campuran yang terdapat pada PM adalah unsur fisika dan kimia yang bermacam-macam tergantung sumbernya. Paling banyak ditemukan diantaranya ion sulfat, ion nitrat, ion ammonium, ion inorganik (sodium, kalsium, potassium, magnesium, dan klorida), ion organic, elemen karbon, material padat, partikel air, logam (tembaga, nikel, cadmium, vanadium, dan seng), dan hidrokarbon aromatik poliksilik (Agus et al, 2019). Baku mutu untuk PM10 di udara ambien adalah $75 \mu\text{g}/\text{Nm}^3$ untuk pengukuran 24 jam dan $40 \mu\text{g}/\text{Nm}^3$ untuk pengukuran 1 tahun sesuai dengan Lampiran PP Nomor 22 Tahun 2021. PM memiliki kandungan material yang dapat menyebabkan gangguan pada pernafasan seperti Infeksi Saluran Pernafasan Akut (ISPA), kardiovaskular, kanker paru-paru, penyakit paru-paru obstruktif kronis, dan kematian dini (Novirsa et al, 2012 dalam Sembiring, 2020).

Di perkotaan, kendaraan bermotor merupakan penghasil utama PM10 seperti halnya di Beijing sekitar 53% PM10 dihasilkan oleh kendaraan bermotor, 23% dihasilkan oleh emisi mobil dan 30% lainnya berasal dari debu jalan (Hao et al., 2005). Sedangkan dalam penelitian (Jandacka et al, 2017), kontribusi pembentukan PM10 sebesar 52,1% dihasilkan dari ban dan debu jalan, 17% dari rem dan permukaan jalan, 14,2% dari bahan bakar diesel dan 16,7% berasal dari fraksi lainnya. Pembentukan PM10 dari ban dan debu jalan sangat mempresentasikan karakteristik sebagian fraksi dalam PM10.

2.2.3 Faktor meteorologi

Pencemaran udara dipengaruhi oleh beberapa faktor salah satunya adalah faktor meteorologi yaitu suhu, kelembaban, kecepatan angin, arah angin, dan musim.

a) Suhu

Menurut Wark dan Warner (1981) Suhu menurun sekitar 1% setiap kenaikan ketinggian 100 meter. Namun sebaliknya pada malam hari lapisan udara yang dekat

dengan permukaan bumi mengalami penurunan suhu terlebih dahulu sehingga suhu pada lapisan udara dibawah lapisan tanah lebih rendah daripada atasnya. Kondisi meteorologis tersebut dinamakan inverse yaitu dimana suhu udara meningkat menurut ketinggian lapisan udara, yang memerlukan kondisi stabil dan tekanan tinggi. Parameter suhu dapat menyebabkan polutan dalam atmosfer yang lebih rendah dan tidak menyebar. Peningkatan suhu dapat menjadi katalisator atau membantu mempercepat reaksi kimia perubahan suatu polutan udara. Musim kemarau akan terjadi keadaan dimana udara kering dengan suhu udara cenderung tinggi dan kecepatan angin yang dapat terbilang rendah maka polutan di udara pada musim ini juga cenderung tinggi dibandingkan pada saat musim hujan karena pada musim kemarau tidak terjadi pengenceran polutan di udara. Suhu tinggi umumnya meningkatkan konsentrasi PM10, sementara suhu rendah menurunkan konsentrasi, terutama di daerah perkotaan Hal ini menunjukkan bahwa kenaikan suhu memperburuk polusi PM akibat partikel-partikel halus (Alnawaiseh et al, 2015) dan (Wojas & Almquist, 2007).

b) Kelembaban

Kelembaban adalah banyaknya uap air yang terkandung udara. Uap air ini menjadi penting karena memiliki sifat menyerap radiasi bumi yang dapat menentukan cepat lambatnya kehilangan panas dari bumi, sehingga dengan sendirinya juga mengatur suhu udara. Kondisi udara yang lembab akan membantu proses pengendapan bahan pencemar, oleh sebab itu dengan keadaan udara yang lembab maka beberapa bahan pencemar berbentuk partikel (misalnya debu) akan berikatan dengan air yang ada dalam udara dan membentuk partikel yang berukuran lebih besar sehingga mudah mengendap ke permukaan bumi oleh gaya gravitasi tarik bumi. Pengaruh kelembaban terhadap konsentrasi partikulat yaitu kelembaban menunjukkan hubungan negatif dengan PM10 dan TSP, terutama ketika kelembaban melebihi ambang tertentu. Kelembaban yang tinggi membantu pengendapan partikel, sehingga menurunkan konsentrasi PM di udara (Jallad et al, 2013) dan (Krampah et al, 2021).

c) Kecepatan angin dan arah angin

Angin merupakan gerakan atau perpindahan massa udara dari satu tempat ke tempat yang lain secara horizontal. Oleh karena itu angin mengakibatkan dispersi polutan ke tempat lain sesuai arah bertiupnya angin. Kecepatan angin dalam data klimatologi adalah kecepatan angin horizontal pada ketinggian 2 meter dari permukaan tanah yang ditanami

dengan rumput, jadi jelas bahwa kecepatan angin dipengaruhi oleh karakteristik permukaan yang dilaluinya. Angin lokal terjadi akibat perbedaan temperatur setempat. Pada skala makro, pergerakan angin sangat dipengaruhi oleh temperatur atmosfer. Tekanan pada permukaan tanah dan gerakan rotasi bumi. Angin bergerak dari tekanan tinggi ke tekanan yang lebih rendah, tetapi dengan adanya gaya coriolis maka angin akan bergerak tidak sesuai dengan seharusnya. Fenomena ini terjadi sampai jarak ribuan kilometer. Pada skala meso dan mikro keadaan topografi sangat berpengaruh pada pergerakan angin

Angin merupakan udara yang bergerak sebagai akibat perbedaan tekanan udara antara daerah yang satu dengan yang lainnya. Perbedaan pemanasan udara menyebabkan naiknya gradien tekanan horizontal, sehingga terjadi gerakan udara horizontal di atmosfer. Oleh karena itu perbedaan suhu antara atmosfer di kutub dan di katulistiwa (equator) serta atmosfer di atas benua dengan atas lautan menyebabkan gerakan ketinggian permukaan tanah mempunyai efek pada kecepatan angin dan arah angin, fenomena skala meso akan terjadi sampai ratusan kilometer dan skala mikro mencapai 10 kilometer (Nurmala., 2004). Kecepatan angin dalam data klimatologi adalah kecepatan horizontal pada ketinggian 2 meter dari permukaan tanah yang ditanami dengan rumput, jadi jelas merupakan angin permukaan yang kecepatannya dapat dipengaruhi oleh karakteristik permukaan yang dilaluinya. Menurut (Chandra., 2006), kecepatan angin yang kuat dapat membawa polutan kemanapun sesuai arahnya sehingga dapat mencemari daerah lain pada jarak yang jauh. Sebaliknya, kecepatan angin yang lemah menyebabkan polutan akan menetap dan semakin bertambah di kawasan sumber pencemarnya. Menurut (Magidi, 2013), polutan di udara menyebar secara horizontal dan vertikal karena pengaruh arah dan kecepatan angin. Kecepatan angin yang besar dapat menyebabkan polutan mengalami pengenceran. Sehingga kecepatan angin yang tinggi dapat mengurangi konsentrasi TSP dengan meningkatkan dispersi partikel di udara. Namun, angin juga dapat menyebabkan resuspensi partikel dari permukaan tanah, meningkatkan konsentrasi partikel halus di area tertentu (Karar et al, 2006) dan (Chen et al, 2012).

d) Musim

Faktor musim memiliki pengaruh signifikan terhadap konsentrasi TSP dan PM10 dalam polusi udara. Beberapa studi menunjukkan bahwa konsentrasi partikel ini cenderung lebih tinggi selama musim dingin dan panas akibat faktor-faktor meteorologis

spesifik di masing-masing musim: Di banyak wilayah, konsentrasi TSP dan PM10 mencapai puncaknya di musim dingin karena suhu rendah dan fenomena inversi suhu, yang menahan polutan di lapisan atmosfer bawah sehingga meningkatkan konsentrasi polutan di udara. Misalnya, di Swiss, polusi partikulat tertinggi terjadi pada musim dingin terutama di area perkotaan, yang berhubungan dengan peningkatan emisi dari pemanasan domestik (Monn et al, 1995). Sebaliknya di daerah dengan suhu tinggi seperti Spanyol Timur, konsentrasi PM10 dan TSP juga meningkat selama musim panas akibat angin kencang yang membawa debu dari kawasan gurun. Peningkatan angin dan suhu tinggi berkontribusi pada polusi udara yang lebih tinggi selama musim panas di wilayah ini (Rodríguez et al, 2002). Di kawasan tropis, konsentrasi TSP dan PM10 lebih tinggi pada musim kemarau dibandingkan musim hujan, karena hujan membantu mengurangi konsentrasi partikulat di atmosfer (Zuloga et al, 2021).

2.3 Mikroplastik

2.3.1 Karakteristik mikroplastik

Mikroplastik merupakan plastik yang memiliki dimensi atau diameter utamanya kurang dari 5 mm, mikroplastik ini dapat berbentuk berupa partikulat primer, seperti fiber sintesis yang berasal dari pakaian dan soft furnishing, dapat pula berupa *microbeads* yang terdapat dalam kosmetik dan produk perawatan pribadi, dan juga berupa plastic shot yang digunakan dalam industri, serta pellet yang digunakan dalam industri manufaktur plastik. Selain berbentuk partikulat primer, mikroplastik dapat berbentuk fragmen sekunder. Fragmen sekunder terbentuk melalui proses pelapukan atau degradasi plastik primer. Jenis plastik yang paling sering diproduksi adalah *Polypropylen* (PP), *Polyetylen* (PE), *Polyetylen Tereftalat* (PET), *Polystyren* (PS), *Poliuretan* (PUR), *Polivinil Klorida* (PVC) dan *Polikarbonat* (PC) (Li et al, 2016). Secara umum, mikroplastik menurut karakteristik morfologi dapat digolongkan menjadi 3 yaitu ukuran, warna dan jenis. Ukuran mikroplastik merupakan faktor yang sangat penting yang berkaitan terhadap jangkauan pengaruh yang berdampak pada organisme. Mikroplastik berpotensi melepas dengan cepat apabila memiliki permukaan yang lebih luas dan lebih besar daripada volume rasio dari partikel kecil (Lusher dan Peter., 2017). Mikroplastik memiliki beragam jenis dapat berupa pelet, fragment, fiber, film, filamen dan foam (Joao Frias et al, 2018) dan juga menyebutkan bahwa warna mikroplastik terdapat berbagai macam warna seperti

hitam, biru, putih, transparan, merah, dan multicolour.

Fragmen dari plastik yang terdegradasi sering disebut mikroplastik, yang memiliki ukuran partikel berukuran kecil (≤ 5 mm) yang sulit terurai, sehingga membuat material ini akan tetap ada dalam jangka waktu yang lama (Hapitasari., 2016). Mikroplastik secara luas digolongkan menurut karakter morfologi yaitu ukuran, warna dan bentuk. Berdasarkan ukuran, mikroplastik merupakan partikel berukuran <5 mm yang berasal dari degradasi plastik berukuran besar (Zhang *et al*, 2017). Warna dari mikroplastik umumnya dibedakan menjadi warna transparan, putih, hitam dan berwarna, umumnya mikroplastik dapat ditemukan dalam berbagai warna seperti bening/transparan, coklat, biru, merah dan hitam (Widianarko., 2018), sedangkan (Manalu., 2017), menemukan warna hitam dan putih merupakan warna yang lebih banyak ditemukan pada fragmen maupun pellet, sedangkan fiber lebih bervariasi yaitu warna biru, hitam dan merah. Mikroplastik hadir dalam berbagai bentuk seperti fragmen, film, foam, fiber/line, dan pellet. Mikroplastik udara dapat etrbawa oleh angin dan tersebar hingga ke daerah terpencil, termasuk pegunungan tinggi dan samudera. Distribusi ini tergantung pada kondisi cuaca dan pola angin, sehingga mikroplastik udara dapat ditemukan hampir di seluruh lapisan atmosfer. Karena ukurannya yang sangat kecil, mikroplastik udara dapat menyebabkan efek negative bagi kesehatan, termasuk masalah pernafasan dan potensi pengaruh toksikpada sistem tubuh lainnya. Berikut adalah Tabel 2.3.1 karakteristik mikroplastik berdasarkan warna, bentuk dan tipe :

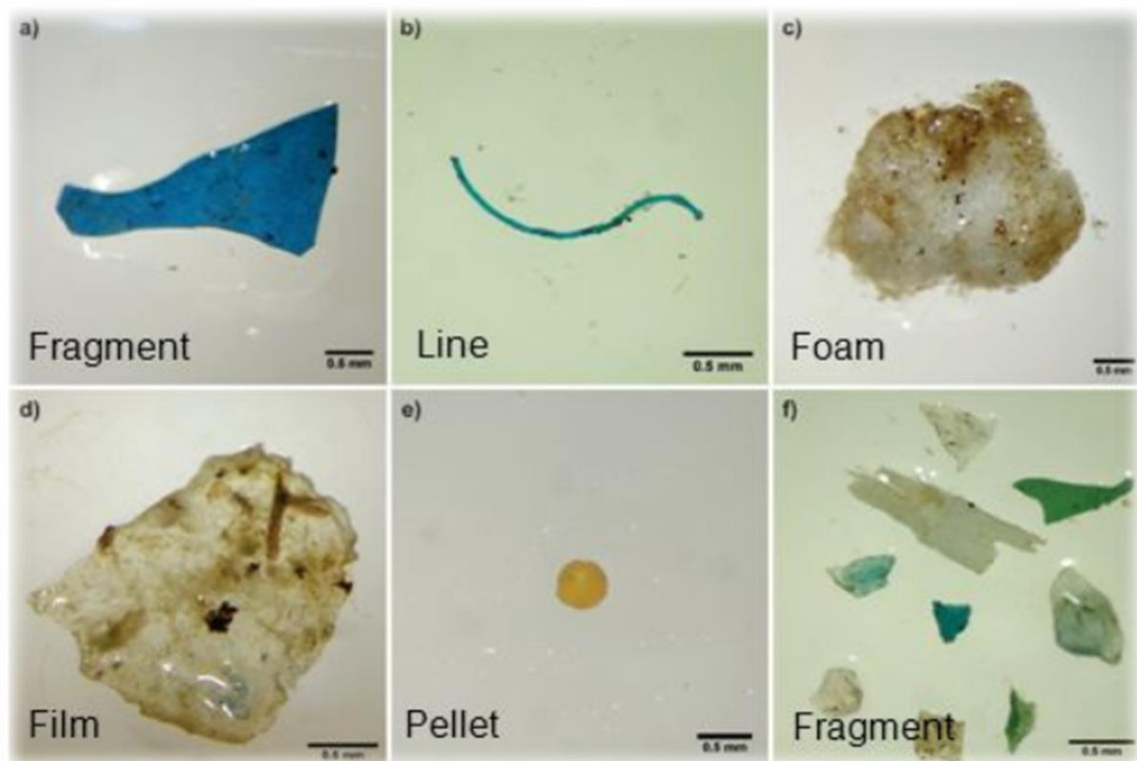
Tabel 2.3.1 Pembagian tipe, warna dan sumber mikroplastik

Karakteristik	Klasifikasi	Keterangan
Tipe	Fiber	Sumber sekunder dengan bentuk memanjang yang berasal dari fragmentasi monofilament jaring, tali dan kain sintesis
	Fragmen	Sumber sekunder dari hasil potongan plastik dengan sifat polimer kuat ataupun lemah
	Pellet	Sumber primer yang langsung diproduksi oleh pabrik sebagai bahan baku pembuatan plastik
Warna	Biru	Warna-warna yang dapat ditemukan dalam pengamatan mikroplastik
	Coklat	
	Hijau	
	Hitam	

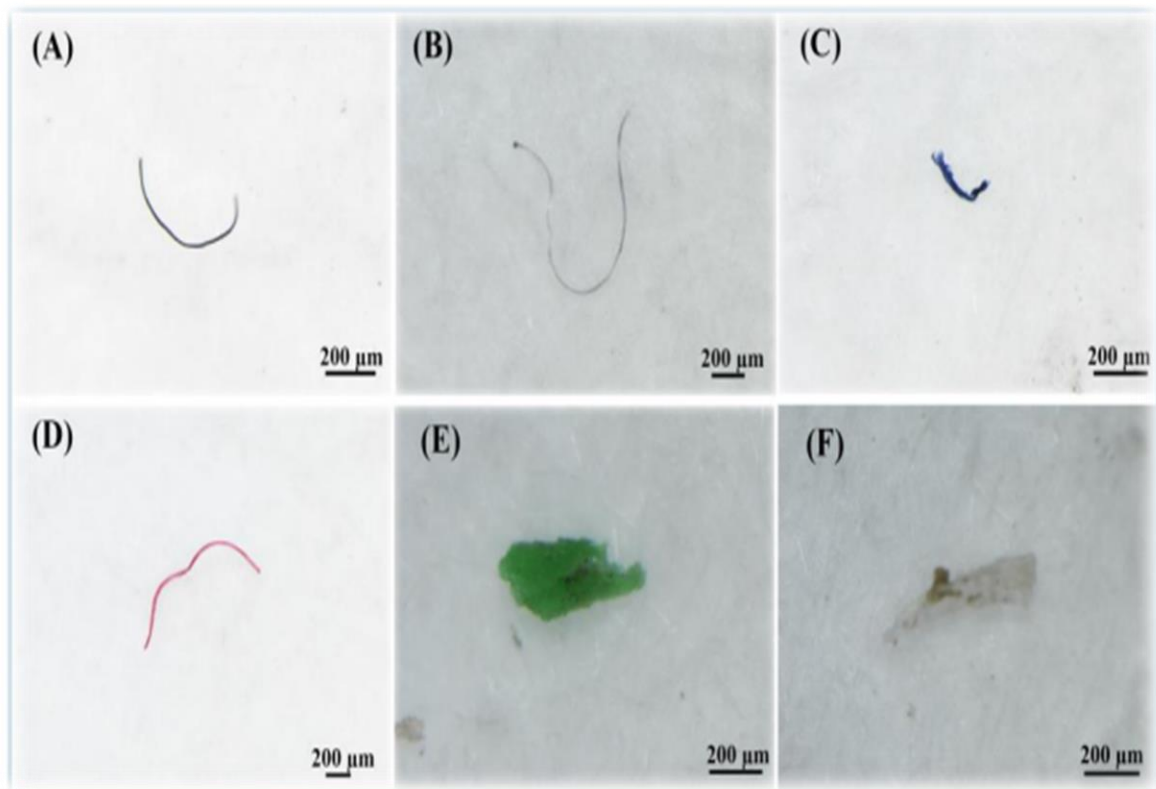
Karakteristik	Klasifikasi	Keterangan
	Merah	
	Kuning	
	Putih/transparan	

Sumber : Manalu, 2017

Gambar 2.3.1 bentuk mikroplastik berupa fragmen, film, fiber, foam dan pellet ;



Fragment (a,f), Fiber (b), Foam (c), 3), Film (d) Pellet (e) (GESAMP, 2019)



Fiber (A-D), fragmen (E), Film (F) (Ding et al, 2022)

Gambar 2.3.1 Menunjukkan bentuk, warna dan tipe mikroplastik

a) Fragmen

Fragmen merupakan sampah mikroplastik yang merupakan serpihan potongan dari plastik yang memiliki polimer sintetis kuat Jenis fragmen umumnya merupakan sampah hasil dari sampah bungkus makan yang berada di lingkungan sekitar seperti kantong plastik, botol minuman yang terbuat dari plastik, kemasan makanan dari plastik, sisa toples yang terbuang, kepingan galon dan potongan-potongan kecil pipa paralon. Seiring berjalannya waktu sampah ini akan terurai menjadi serpihan-serpihan kecil hingga membentuk fragmen (Dewi., 2015). Mikroplastik jenis fragmen memiliki dimensi panjang dan lebar, dengan ketebalan yang cukup, mikroplastik ini berwarna hitam pekat. Karakteristik khusus yang membedakan mikroplastik jenis fragmen adalah bentuknya yang merupakan pecahan dari unit yang lebih besar. Mikroplastik tipe fragmen ini berasal dari proses degradasi plastik yang menghasilkan ukuran lebih kecil (Ding et al, 2019). Fragmen berasal dari sampah botol, toples, map mika, dan potongan kecil pipa paralon (Syafei et al, 2019)

b) Film

Merupakan polimer plastik sekunder yang berasal dari fragmentasi kantong plastik atau plastik kemasan dan memiliki densitas rendah. Film mempunyai densitas lebih rendah dibandingkan tipe mikroplastik lainnya sehingga lebih mudah ditransportasikan oleh arus dan pasang tertinggi (Kingfisher, 2011). Mikroplastik jenis film memiliki bentuk yang luas atau lebar dan sangat tipis. Mikroplastik ini berasal dari kantong plastik kemasan makanan serta minuman yang terbuat dari bahan plastik tipis. Dalam aktivitas transportasi dapat menghasilkan mikroplastik jenis film, terutama melalui proses abrasi atau penggunaan material berbasis plastik pada kendaraan dan infrastruktur transportasi. Beberapa plastik yang digunakan dalam pembuatan ban yaitu karet sintesis, polyester dan nylon (poliamida). Warna yang dominan pada jenis mikroplastik film adalah transparan. Plastik film memiliki ciri utama seperti lembaran atau pecahan plastik yang bersumber dari kantong kresek dan plastik kemasan (Syafei et al, 2019)

c) Fiber

Plastik fiber adalah bentuknya mirip dengan serabut yang berasal dari pakaian. Merupakan salah satu jenis mikroplastik yang dapat berasal dari fragmentasi monofilamen jaring ikan, tali dan kain sintetis (Katsanevakis & Katsarou, 2004). Fiber adalah jenis mikroplastik yang bentuk dan ukurannya tipis, oleh karena bentuknya yang tipis mikroplastik ini sering ditemukan mengambang pada permukaan air (GESAMP, 2015). Mikroplastik jenis fiber berasal dari penduduk sekitar daerah pesisir yang kebanyakan berprofesi sebagai nelayan. Aktivitas nelayan dalam menangkap ikan menggunakan berbagai alat tangkap seperti jaring atau karung plastik akan terdegradasi sehingga menjadi partikel-partikel mikroplastik berbentuk fiber. Selain itu mikroplastik jenis fiber yang masuk ke lingkungan perairan juga dapat dihasilkan dari buangan air hasil mencuci pakaian (Nor dan Obbard., 2014). Mikroplastik ini merupakan serat plastik atau partikel yang berukuran mikroskopis yang terdapat dalam udara. Serat ini berasal dari berbagai sumber, seperti tekstil sintetis atau juga berasal dari penguraian bahan plastik yang lebih besar, seperti kantong plastik atau produk plastik lainnya (Ding et al, 2019).

d) Pellet

Mikroplastik bentuk pellet merupakan bahan baku pembuatan plastik yang dibuat langsung oleh pabrik, jenis mikroplastik ini termasuk dalam mikroplastik primer (Dewi, 2015). Mikroplastik berbentuk pelet atau "resin pellets" yang ditemukan di udara dan

lingkungan telah mendapat perhatian sebagai salah satu sumber polusi mikroplastik. Beberapa studi menunjukkan karakteristik serta sumber polusi dari mikroplastik jenis ini di area pesisir dan laut, dengan implikasi bahwa polutan ini berpotensi juga hadir dalam lingkungan udara melalui aktivitas manusia, seperti produksi plastik dan proses transportasi. Pellet mikroplastik adalah salah satu bentuk mikroplastik paling umum di area pesisir, dengan berbagai jenis polimer seperti polietilena (PE) dan polipropilena (PP) yang mendominasi. Di pantai-pantai Goa, India, pelet mikroplastik terutama berasal dari sumber laut dan ditemukan di sepanjang musim tertentu akibat arus dan angin musiman (Veerasingam et al, 2016). Dalam studi di Cartagena, Kolombia, pelet mikroplastik yang ditemukan di pantai umumnya menunjukkan karakteristik degradasi seperti retakan dan perubahan warna, menunjukkan bahwa partikel ini dapat terdegradasi menjadi ukuran yang lebih kecil dan semakin berpotensi mencemari udara atau lingkungan perairan seiring waktu (Coley et al, 2015). Selain menjadi polutan plastik, pelet mikroplastik dapat mengikat zat kimia berbahaya, termasuk logam berat seperti timbal (Pb), yang dapat terlepas ke lingkungan. Pelet ini berpotensi menjadi media pengangkutan kontaminan ke organisme yang tak sengaja menghirup atau mengonsumsinya, terutama bagi burung laut dan makhluk laut lainnya (Holmes et al, 2020). Penelitian ini menunjukkan bahwa mikroplastik berbentuk pelet dapat hadir di lingkungan udara melalui aktivitas angin, transportasi, dan degradasi dari permukaan tanah atau laut.

e) *Sifat polimer mikroplastik*

Plastik merupakan bahan polimer yang dibentuk pada suhu dan tekanan tertentu (Lusher & Peter., 2017). Plastik terbagi menjadi 3 kategori yaitu termoplastik, termosets dan elastomer. Termoplastik melunak saat dipanaskan dan mengeras saat didinginkan contoh : *Polyethylene* (PE), *Polypropylene* (PP), *polytetraforo-etilen*, *polyamid* (PA), *polivinil klorid* (PVC) dan *polystirin* (PS). Termoset tidak dapat melunak setelah dibentuk contoh : resin epoksi, poliuretan (PU), resin polyester, bakalit. Elastomer adalah polimer elastis yang dapat kembali ke bentuk awal setelah ditarik, contoh : karet, neopren.

Metode yang efektif untuk mengidentifikasi jenis polimer pada mikroplastik seperti PE, PP, *Polyethylene Terephthalate* (PET), PS, dan *High-Density Polyethylene* (HDPE) salah satunya adalah *Fourier Transform Infrared Spectroscopy - Attenuated Total Reflection* (FTIR-ATR). Analisis ini menggunakan spektrum inframerah yang khas untuk masing-masing polimer, membantu dalam mengenali jenis mikroplastik dalam sampel

lingkungan. Penggunaan FTIR-ATR memungkinkan identifikasi yang akurat dari jenis polimer mikroplastik seperti PE, PP, PET, dan PS dengan keandalan tinggi.

Analisis ini mengandalkan intensitas pita spektral spesifik untuk menghindari interferensi dan menentukan kesesuaian spektrum polimer secara tepat (Margado et al, 2021). Penelitian di berbagai lingkungan seperti sedimen air tawar menunjukkan bahwa FTIR-ATR dapat digunakan untuk mengidentifikasi partikel mikroplastik, termasuk polimer utama seperti PE dan PP. Dalam penelitian ini, spektrum FTIR membantu membedakan polimer berdasarkan sifat uniknya, seperti pita serapan karbon pada polimer yang berbeda (Backer et al, 2020). Penggunaan Library Spektral pada database FTIR seperti FLOPP dan FLOPP-e sangat membantu dalam mengenali polimer mikroplastik yang umum ditemukan di lingkungan. Database ini mencakup spektrum berbagai polimer yang umum, mempercepat pencocokan spektral mikroplastik dari berbagai warna dan bentuk (De frond et al, 2021). ATR-FTIR dapat membedakan jenis polimer, termasuk PS dan HDPE, berdasarkan pita inframerah spesifik seperti kelompok metilen dan vinil yang unik bagi setiap jenis polimer. Penelitian ini mendemonstrasikan cara pemisahan spektrum untuk mengidentifikasi polimer (Käppler et al, 2015). Melalui metode FTIR-ATR dan library spektral, identifikasi polimer mikroplastik dapat dilakukan dengan akurat dan cepat sehingga dapat membantu dalam mengurangi dampak mikroplastik di lingkungan.

2.3.2 *Mekanisme mikroplastik ke udara*

Peningkatan transportasi terutama di daerah dengan kepadatan penduduk yang tinggi atau perkotaan dapat meningkatkan intensitas dan frekuensi pelepasan mikroplastik di udara, hal ini berpotensi menyebabkan meningkatnya paparan partikel-partikel mikroplastik terhadap manusia sehingga berdampak pada kesehatan. Dari penelitian sebelumnya ditemukan keberadaan mikroplastik di udara pada lingkungan industri, pertanian, dan perkotaan (Sommer et al, 2018). Karena ukurannya yang kecil sehingga mudah terhirup oleh manusia dan makhluk hidup lainnya sehingga menyebabkan gangguan pada sistem pernafasan. Setelah dilakukan pengamatan pada paru-paru manusia dengan mikroskop, hasil menunjukkan bahwa di dalam paru-paru tersebut terdapat serat plastik dengan panjang sekitar 50 mm tetapi bisa lebih panjang hingga 250 mm (House of commons, 2016). Penyebaran mikroplastik di lalu lintas sebagian besar disebabkan oleh transportasi, abrasi jalan dan emisi udara kemudian didistribusikan melalui

kecepatan udara dan arah mata angin, suhu dan keadaan topografi (Dris *et al*, 2017).

Menurut (Syafei *et al*, 2019) partikel plastik di lingkungan bisa datang dari beberapa sumber, termasuk penghancuran sampah plastik alami melalui aksi gelombang mekanis, fotooksidasi yang dihasilkan dari sinar matahari, pembuangan langsung produk industri, serat dari kain sintetis, ban usang dari mobil atau sepeda motor dan bahan-bahan yang digunakan dalam kosmetik. Polusi mikroplastik mungkin datang dari mikroplastik yang sengaja diproduksi, dari kegiatan indoor dan outdoor, pengelolaan sampah pelepasan, daur ulang limbah, membuang sampah sembarangan dan aktivitas di laut seperti dari jaring ikan. Di daerah perkotaan, sumber mikroplastik yang paling banyak adalah keausan jalan dan abrasi ban, dilaporkan oleh Gustavsson. Untuk pengguna jalan dan pejalan kaki, paparan mikroplastik dapat menyebabkan peningkatan masalah kesehatan.

2.3.3 *Bahaya dan dampak mikroplastik*

Plastik merupakan suatu bahan yang dibuat dari bahan material *hidrofobik* yang memiliki sifat *toxic* yang terdapat pada permukaan plastik. Mikroplastik sendiri di lingkungan perairan dapat berfungsi sebagai wadah bagi zat yang memiliki sifat *toxic* seperti bahan kimia (Ivar do Sul dan Costa., 2013). Menurut (Holmes, 2013) mengatakan bahwa, unsur - unsur seperti Pb, Cu, Ni, Cd, Cr, dan Co yang dipengaruhi oleh pH dan salinitas dapat menempel pada permukaan mikroplastik jenis pelet. Meningkatnya pH dan menurunnya salinitas berpengaruh pada meningkatnya kemampuan Pb, Ni, Co, dan Cd menempel pada plastik pelet, berbeda dengan Cr yang kemampuan menempel pada plastik pelet semakin menurun.

Emisi dari industri, partikel tersuspensi dan penyebab *antropogenik* lainnya, seperti perkotaan, lalu lintas, adalah sumber potensial mikroplastik di udara. Para peneliti mempelajari limpasan air, badai dari kota-kota Norwegia dan Swedia ditemukan bahwa limpasan air dan badai adalah sumber substansial dari berbagai bidang terkait lalu lintas polutan. Debu kota di limpasan perkotaan diketahui sebagai sumber polusi air yang signifikan. Menurut (Syafei *et al*, 2019) debu kota berasal dari bahan berbasis polimer, seperti ban, yang dianggap sebagai mikroplastik. Kendaraan yang melaju di jalan mengalami gesekan, tekanan dan panas, menyebabkan ban kendaraan aus dan keluar debu plastik. Jika tertiuap ke udara, debu bisa berkontribusi pada penurunan kualitas udara, dan jika terbawa oleh hujan ke selokan, sungai dan

sebagainya, kemungkinan besar untuk dikonsumsi oleh biota di perairan, seperti kerang, yang dapat mempengaruhi rantai makanan manusia. Dampak mikroplastik terhadap kesehatan manusia adalah seiring berjalannya waktu, mikroplastik dapat menumpuk dan merusak kantung udara (alveoli) di paru-paru. Hal ini dapat meningkatkan resiko terkena penyakit paru-paru seperti emfisema dan kanker paru-paru.

2.4 Penelitian terdahulu

Penelitian yang dilakukan mengacu pada hasil penelitian-penelitian yang telah dilakukan sebelumnya. Tabel 2.4 menunjukkan hasil penelitiannya.

Tabel 2.4 Penelitian terdahulu

No.	Peneliti	Judul	Hasil
1.	Wright S.L. et. al, 2020	<i>Atmospheric microplastic deposition in an urban environment and an evaluation of transport</i>	Efek kesehatan terkait dari partikulat (PM) dapat terjadi setelah paparan pekerjaan, misalnya, untuk serat mineral, terutama terkait dengan transportasi jalan dan bahan bakar dan emisi. Dalam kombinasi dengan pramendikte peningkatan penggunaan plastik, khususnya di sektor tekstil (4%/tahun), konsentrasi proporsional mikroplastik di udara akan menjadi semakin penting.
2.	Akhbarizadeh Razegheh et. al, 2020	<i>Suspended fine particulate matter (PM_{2.5}), microplastics (MPs), and polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs) in air: Their possible relationships and health implications</i>	Tingkat PM _{2.5} dan keterkaitannya dengan MP dan PAH di udara ambien Pelabuhan Bushehr, di bagian utara Teluk Persia ditentukan dan variasi temporal, identifikasi sumber, dan risiko kesehatan manusia. Hasil yang ditunjukkan bahwa debu dari daerah distal (Irak dan Arab Saudi) sebagian besar berasal dari petrogenik (kegiatan terkait minyak / gas) memainkan peran penting dalam PM _{2.5} dan konsentrasi MP dan PAH udara di wilayah studi selama waktu pengambilan sampel. Studi ini memantau dan mengidentifikasi AMP (Ambien Mikroplastik) di Bangkok Metropolitan Region (BMR)
3.	Agullo Torres et, al, 2021	<i>Overview on the occurrence of microplastics in air and implications from the use of face masks during the COVID-19 pandemic</i>	Dalam konteks COVID-19, perhatian khusus harus diberikan pada peningkatan limbah plastik global dan menghirup mikroplastik karena penggunaan masker wajah. Masker wajah telah menjadi sangat diperlukan di masyarakat, sehingga penelitian di masa mendatang harus menyelidiki risiko kesehatan yang terkait dengan jangka pendek dan jangka panjang. istilah inhalasi mikroplastik.
4.	Danuwas Sarathana	<i>Concentrations of Airborne</i>	Hasil penelitian menunjukkan konsentrasi mikroplastik sebesar 333,42 ± 142,99 (n/m ³).

No.	Peneliti	Judul	Hasil
	and Ekbordin Winijkul, 2023	<i>Microplastics during the Dry Season at Five Locations in Bangkok Metropolitan Region, Thailand</i>	Mikroplastik di tempat pembuangan sampah lebih tinggi dibandingkan konsentrasi di daerah lain. Hubungan antara mikroplastik dan total partikel tersuspensi (TSP) sangat bergantung pada lokasi dan sumber mikroplastik di sekitarnya. mikroplastik yang lebih tinggi dengan TSP yang lebih tinggi ditemukan di universitas, tempat pembuangan sampah, dan kawasan industri. Sebaliknya, mikroplastik yang lebih rendah dengan TSP yang lebih tinggi ditemukan di tepi jalan dan taman kota. Dari segi bentuk AMP, sebagian besar berbentuk fragmen (97,22%) sedangkan 2,78% berbentuk serat. Polietilen (PE) pada fragmen dan plastik pada serat merupakan jenis polimer utama yang terdapat di semua lokasi.
5.	Dipareza Syafei et. al, 2019	<i>Microplastic Pollution in the Ambient Air of Surabaya, Indonesia. Current World Environment, 14(2), 290-298.</i>	Fiber menjadi bentuk mikroplastik yang paling banyak ditemukan, diikuti oleh fragmen dan film. Analisis menggunakan Fourier Transform Infrared (FTIR) mengidentifikasi polimer utama seperti polyester, polyethylene terephthalate (PET), dan cellophane. Serat mikroplastik di udara dapat tertelan dan terhirup oleh manusia. Saat ini tidak tersedia data atau informasi yang memberikan bukti potensi efek kesehatan manusia dari tertelan atau mikroplastik yang dihirup. Dengan demikian, penelitian lebih lanjut diperlukan. Partikel individu hadir dalam PM _{2.5} untuk fraksi partikel bernapas PM ₁₀ juga harus diselidiki. Penelitian lebih lanjut juga diperlukan di lokasi lain untuk menentukan sumber mikroplastik secara langsung, baik itu keausan ban dari kendaraan atau pakaian dari pengguna jalan.
6.	Asrin et. al, 2019	<i>Microplastics in Ambient Air (Case Study: Urip Sumoharjo Street and Mayjend Sungkono Street of Surabaya City, Indonesia)</i>	Jumlah mikroplastik yang tersebar di jalan Urip Sumoharjo adalah yang paling banyak dibandingkan dengan Jalan Mayjend Sungkono, dengan bentuk mikroplastik dominan dari serat yang dikumpulkan. Jenis polimer poliester, polietilen-terephthalat (PET) dan plastik diidentifikasi. Partikel mikroplastik di udara dapat dengan mudah memasuki saluran udara dan dapat menjadi transportasi mikroplastik di perairan lingkungan yang dapat menimbulkan potensi ancaman bagi kesehatan dan aktivitas manusia.

Dari penelitian yang sudah pernah dilakukan, penelitian kali ini memiliki perbedaan yang terletak pada lokasi pengambilan sampel udara. Pada penelitian ini akan mengambil sampel udara di Yogyakarta yang tersebar di wilayah kota Yogyakarta. Dipilihnya lokasi tersebut karena ingin mengetahui konsentrasi TSP dan PM₁₀ dan kelimpahan mikroplastik yang terkandung didalamnya yang berlokasi di Yogyakarta.

BAB III

METODE PENELITIAN

3.1 Waktu dan lokasi penelitian

Pengambilan sampel ini dilakukan pada hari kerja atau *weekday* pada saat musim pancaroba yaitu merupakan kondisi transisi atau pergantian dari musim kemarau ke musim penghujan. Menurut Badan Meteorologi Klimatologi dan Geofisika (BMKG) di Indonesia musim pancaroba terjadi pada bulan Maret sampai April. Durasi pengambilan sampel dilakukan selama 1 x 24 jam di setiap lokasi pada bulan Maret sampai dengan bulan Juni tahun 2023 secara bergantian. Pengambilan contoh uji ini dilakukan dalam wilayah yang tersebar di beberapa lokasi di Yogyakarta berdasarkan perbedaan aktivitas yang bisa menjadi sumber mikroplastik.

3.1.1 Aktivitas transportasi

Berdasarkan data Badan Pusat Statistik (BPS) tahun 2022 jumlah kendaraan bermotor tercatat sebanyak 576.016 unit. Komposisinya terdiri dari sepeda motor sebanyak 84,90 %, mobil penumpang sebanyak 12,16 %, dan mobil beban sebanyak 2,47 %, sisanya adalah bus dan kendaraan khusus (Kota Yogyakarta Dalam Angka, 2023). Pertumbuhan penduduk yang pesat di Yogyakarta telah menyebabkan kemacetan lalu lintas di sebagian besar wilayah dan hampir di semua tempat (Patrias & Lulie, 2021) berdasar kepadatan lalu lintas tersebut maka lokasi pengambilan sampel dilakukan di area jalan raya yang mencakup (ringroad Barat, ringroad Selatan, ringroad Timur dan ringroad Utara), area terminal (terminal Giwangan dan terminal Jombor). Terminal dapat dianggap sebagai simpul utama dalam jaringan pengangkutan dengan berbagai fungsi yang memengaruhi timbulnya aktivitas perdagangan yang menggunakan akses dan layanan terminal.

Budhianto & Aris (2014) menjelaskan bahwa terminal merujuk pada lokasi dimana transportasi dapat berhenti untuk memuat dan membongkar barang. Terminal bus, sebagai contohnya, berfungsi sebagai infrastruktur penting untuk angkutan jalan raya, mengatur keberangkatan dan kedatangan kendaraan umum, serta memfasilitasi proses penumpang dan barang turun-naik (Budhianto & Aris, 2014). Terminal Giwangan merupakan salah satu terminal tipe A dengan luas sekitar 58.850 m² yang melayani

angkutan Antar Kota Antar Provinsi (AKAP), Antar kota Dalam Provinsi (AKDP) dan angkutan pedesaan. Lokasi terminal Giwangan berada di sebelah timur sisi jalan Imogiri Timur, tepatnya dekat perempatan besar yang menghubungkan Jalan Ahmad Yani dan Jalan Imogiri Timur. Rata-rata jumlah penumpang yang dilayani di terminal Giwangan berkisar 20.000 orang per hari, sedangkan jumlah bus yang berdatangan maupun bertujuan ke provinsi lain mencapai 850 armada.

Terminal Jombor merupakan terminal tipe B yaitu terminal yang melayani angkutan Antar Kota Antar Provinsi (AKAP), Angkutan Kota (AK) dan Akutan Pedesaan. Lokasi terminal Jombor berada di Provinsi Daerah Istimewa Yogyakarta terletak di Kelurahan Sinduadi, Kecamatan Mlati, Kabupaten Sleman. Pertimbangan pemilihan titik lokasi pengambilan contoh uji ini ditentukan atas pertimbangan banyaknya bus yang beroperasi di dua terminal tersebut sehingga menimbulkan adanya polusi udara dan dimungkinkan dapat menyebabkan meningkatnya produksi mikroplastik yang berasal dari aktivitas transportasi disekitar kawasan terminal.

3.1.2 Kawasan wisata

Proyeksi jumlah penduduk DIY pada tahun 2022 mencapai 3.761.870 jiwa dengan kepadatan penduduk sekitar 1.186 jiwa per KM². Kepadatan tertinggi terjadi di Yogyakarta, mencapai 11.546 jiwa per KM² (Provinsi Daerah Istimewa Yogyakarta Dalam Angka, 2023). Yogyakarta telah lama dikenal sebagai kota pelajar dan kota budaya dengan hampir 20% dari penduduk produktifnya merupakan pelajar (Valentine et al, 2020). Hal inilah yang banyak menarik minat penduduk kota lain, sehingga secara tidak langsung menambah padatnya lalu lintas di Kota Yogyakarta (Poei & Anusanto, 2016). Selain itu, peningkatan volume kendaraan tanpa diimbangi peningkatan kapasitas ruas jalan mengakibatkan kemacetan dan masalah-masalah lalu lintas lainnya (Yulianyaha, 2023). Dalam arus lalu lintas, salah satu aspek yang perlu diperhatikan adalah persimpangan. Permasalahan lalu lintas seringkali muncul pada area persimpangan, dimana setiap kendaraan dari masing-masing pendekatan saling berinteraksi, menyebabkan potensi kemacetan atau kepadatan pada arus lalu lintas (Zihansyah et al, 2022).

Lokasi pengambilan sampel di ini diambil di persimpangan di daerah kota Yogyakarta yang rentan mengalami kemacetan lalu lintas. Ruas jalan Pangeran Diponegoro memiliki peran penting sebagai salah satu akses utama di Kota Yogyakarta, berfungsi sebagai jalur transportasi penghubung antara berbagai area di Yogyakarta.

Terdapat dua simpang bersinyal, yaitu Simpang Tugu dan Simpang Pingit, dengan jarak antar simpang sekitar 700 meter. Jarak yang berdekatan ini menyebabkan pengendara sering kali berhenti pada tiap simpangnya karena adanya sinyal merah, yang mengakibatkan tundaan dan antrian kendaraan ditambah lagi simpang tugu juga merupakan salah satu akses untuk masuk ke kawasan malioboro dimana lokasi ini merupakan salah satu destinasi tujuan wisata di Yogyakarta dengan Jumlah kunjungan pada tahun 2022 mencapai 2,7 juta, dan tahun 2023 mengalami kenaikan, kurang lebih 3.017.651 orang (Anwar, 2024) untuk itu perempatan Tugu dan jalan Malioboro tepatnya berada di dekat stasiun Tugu juga dipilih sebagai lokasi pengambilan sampel karena lokasi tersebut berdekatan dengan pertigaan jalan mataram dan akses pintu keluar stasiun kereta api yang dimungkinkan kepadatan pengunjung dan transportasi berada di lokasi tersebut sehingga menyebabkan pencemaran udara.

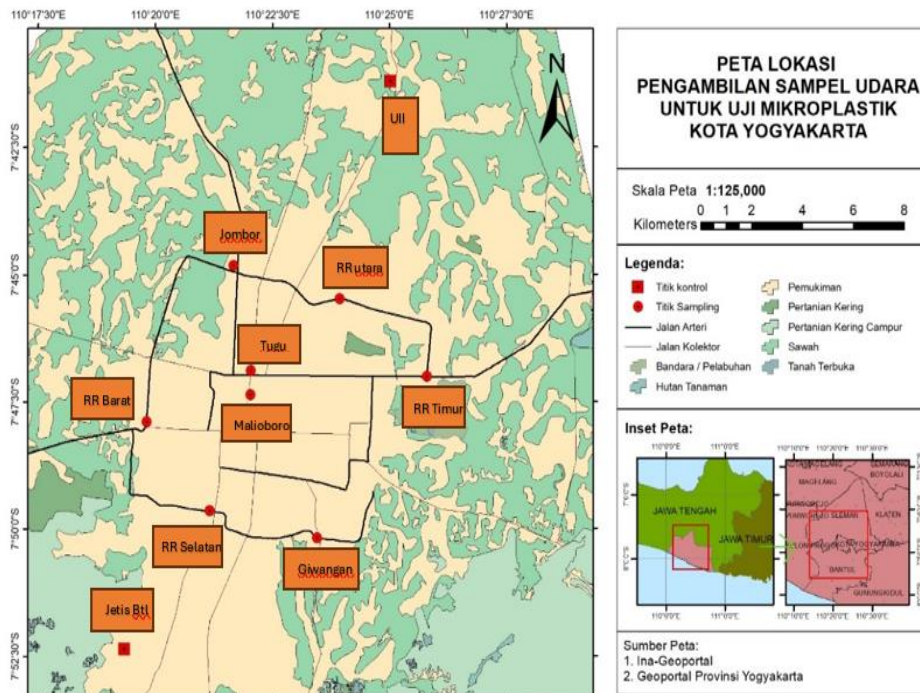
3.1.3 Kawasan permukiman

Kampus merupakan suatu perkumpulan tersendiri yang terbukti mampu menjadi instrumen pemicu perkembangan wilayah. Salah satunya adalah Kampus Terpadu Universitas Islam Indonesia (UII) Yogyakarta. Kampus terpadu UII berpengaruh terhadap perkembangan permukiman di sekitar kampus, berupa pertumbuhan jumlah pelayanan dan jasa baik itu berupa indekos, cafetaria dan rumah makan pada sekitar kampus (Ambraini, Fahreza & Swasto, Deva & Rahmi, Dwita. 2020). Sedangkan di lokasi Jetis Bantul berdasarkan estimasi hasil Sensus Penduduk 2010, penduduk Kecamatan Jetis tahun 2015 berjumlah 54.233 jiwa dengan kepadatan penduduk di Kecamatan Jetis adalah 2.216 jiwa per kilometer persegi. Kesadaran untuk pengelolaan sampah di bantul termasuk rendah hal tersebut didukung dengan pernyataan dari Kepala Bidang Pemadam Kebakaran dan Penyelamatan (Damkarmat) BPBD Kabupaten Bantul, menyampaikan bahwa kebakaran yang terjadi pada Januari hingga pertengahan September 2024 di dalam Wilayah Manajemen Kebakaran (WMK) Bantul mencapai 182 kejadian, sementara di luar WMK Bantul mencapai 21 kejadian. Kejadian kebakaran di Bantul sebagian besar masih disebabkan karena pembakaran sampah.

Peningkatan aktivitas pembakaran sampah sejak pembatasan operasional tempat pembuangan akhir (TPA) Piyungan disebut menjadi salah satu penyebab buruknya kualitas udara di Kota Yogyakarta, Daerah Istimewa (DI) Yogyakarta, pada Agustus 2023. meski bukan satu-satunya penyebab, namun aktivitas pembakaran sampah pasti

berkontribusi terhadap pencemaran udara di Kota Yogyakarta.

Dengan pertimbangan tersebut maka permukiman diambil sebagai lokasi pengambilan sampel dalam penelitian ini yaitu wilayah kampus UII dan permukiman yang berada di Jetis Bantul tepatnya Desa Karang, RT.09 Dusun Puton, Kelurahan Trimulyo, Kecamatan Jetis, Bantul. Selain pertimbangan diatas semua lokasi tersebut dipilih juga berdasarkan pertimbangan keamanan, perizinan serta kemungkinan pencemaran udara di setiap lokasi. Keputusan penentuan lokasi pemantauan kualitas udara ambien memperhitungkan syarat pemilihan tempat berdasarkan standar SNI 19-7119.6-2005 tentang Penentuan Lokasi Pemantauan Kualitas Udara Ambien. Peta lokasi penelitian ini dapat di lihat pada Gambar 3.1.









Gambar 3.1 Lokasi penelitian dan titik sampling


Deskripsi lokasi dan titik sampling pada penelitian ini dapat dilihat pada Tabel 3.1.

Tabel 3.1 Deskripsi lokasi sampling

No	Lokasi sampling	Gambaran lokasi	Deskripsi Lokasi
1	Ringroad Barat		<p>Titik GPS di titik pengambilan contoh uji 1. berada di ringroad barat yaitu S : 7°47'58" E : 110°19'48". Lokasi ini berada di dekat pos polisi lalu lintas yang terletak di dekat perempatan jalan yang termasuk padat lalu lintasnya, lokasi ini merupakan titik lokasi paling barat dengan sumber polutan dari kendaraan bermotor (lalu lintas jalan) , durasi pengambilan sampel 24 jam sesuai dengan SNI (standar Nasional Indonesia), selama pengambilan sampel kepadatan lalu lintas padat pada pagi hari dan sore hari dimana jam tersebut merupakan jam masuk dan pulang kerja, cuaca selama pengambilan sampel cerah.</p>
2	Ringroad Selatan		<p>Titik GPS untuk lokasi ke- 2 yaitu ; S : 7°49'40" E : 110°21'14". Di lokasi ini pengambilan sampel dilakukan di dekat pos polisi lalu lintas Dongkelan dimana lokasi tersebut dipilih karena akses yang cukup luas dan merupakan titik simpang empat yang lalu lintasnya cukup padat (sumber polutan diperkirakan dari kendaraan bermotor), pengambilan sampel dilakukan selama 24 jam dari pukul 09.30 WIB samapi dengan 09.30 WIB pada hari berikutnya, berlokasi tepat bersebelahan dengan pos polisi Dongkelan. lalu lintas padat pada pagi dan sore hari, selama pengambilan sampel keadaan cuaca cerah.</p>
3	Ringroad Timur		<p>Lokasi ke 3 terletak di samping pos polisi Maguwo dengan titik GPS : S : 7°46'59" E : 110°25'46", lokasi ini berada di simpang 3 Maguwoharjo, termasuk akses masuk kendaraan ke kota Yogyakarta, lalu lintas padat dari pagi, siang dan sore. Keadaan cuaca selama pengambilan sampel cerah, durasi pengambilan sampel 24 jam</p>

No	Lokasi sampling	Gambaran lokasi	Deskripsi Lokasi
4	Ringroad Utara		<p>Lokasi ke empat yaitu di dekat area pos polisi Condong catur dengan titik GPS yaitu : S : 7°45'29" E : 110°23'44", pos polisi ini berdekatan langsung dengan simpang empat jalan yang merupakan akses masuk ke kota dengan intensitas lalu lintas padat pagi dan sore hari. saat pengambilan contoh dilakukan cuaca dalam keadaan cerah, durasi pengambilan sampel dilakukan selama 24 jam,</p>
5	Giwangan		<p>Titik GPS pada lokasi ke 5 ini adalah ; S : 7°50'03" E : 110°23'30" terletak di dalam terminal bus Type A dimana terminal ini merupakan tempat singgah bus dari seluruh kota besar. Terminal ini berada di jalan imogiri timur, Giwangan, Umbulharjo, kota Yogyakarta. pengambilan sampel di lokasi ini dilakukan selama 24 jam pada hari kerja (week days), jam operasional terminal bus Giwangan 24 jam saat pengambilan sampel dilakukan jumlah kendaraan/bus termasuk padat.</p>
6	Jombor		<p>Titik Gps di lokasi 6 ini adalah : S : 7°44'50" E : 110°21'40", lokasi ini berada di dalam terminal Jombor yang merupakan terminal type B digunakan untuk tempat transit bus antar kota dari terminal Giwangan yang bertujuan ke luar kota. Durasi pengambilan sampel yang dilakukan adalah 24 jam pada hari kerja. jumlah kepadatan kendaraan saat pengambilan sampel tidak terlalu padat</p>
7	Tugu		<p>Lokasi ini berada di dekat pusat kota dengan posisi GPS ; S : 7°46'59" E : 110°22'01", saat pengambilan sampel dilakukan kepadatan lalu lintas termasuk tinggi, karena lokasi ini bertepatan dengan simpang empat yang merupakan akses utama menuju pusat kota, sehingga dari pagi sampai malam aktifitas berkendara masih terpantau padat, durasi pengambilan sampel pada lokasi ini 24 jam, saat pengambilan sampel dilakukan cuaca dalam keadaan</p>

No	Lokasi sampling	Gambaran lokasi	Deskripsi Lokasi
			cerah.
8	Maliboro		<p>Titik GPS pada lokasi ke 8 adalah S : 7°47'23" E : 110°21'57", lokasi ini berada di pusat kota dengan keramaian yang cukup tinggi baik dari pejalan kaki maupun kendaraan ditambah lagi berada dekat dengan stasiun kereta, alat pengambil contoh uji dipasang dekat pertigaan jalan dengan jarak sekitar 4 meter dari bahu jalan tepatnya sebelah pos polisi Gondomanan, durasi pengambilan sampel 24 jam, cuaca dalam keadaan cerah saat pengambilan sampel.</p>
9	Boulevard UII		<p>Titik ke 9 dengan posisi GPS ; S : 7°41'15" E : 110°25'00". Lokasi ini berada kurang lebih 15 Kilo meter ke arah utara dari ringroad utara, saat pengambilan sampel dilakukan cuaca dalam keadaan cerah selama 24 jam. kepadatan lalu lintas di rasakan pada saat pagi dan sore hari saat jam masuk kuliah dan pulang kuliah, karena lokasi ini merupakan akses keluar masuk kendaraan menuju kampus</p>

No	Lokasi sampling	Gambaran lokasi	Deskripsi Lokasi
10	Jetis Bantul		S : 7°54'09" E : 110°22'33" Lokasi ini berada di permukiman warga dengan lokasi kurang lebih 15 Kilo meter ke arah selatan dari ringroad selatan, saat pengambilan sampel dilakukan cuaca dalam keadaan cerah dan dilakukan pengambilan contoh selama 24 jam. Di lokasi ini tidak padat kendaraan karena termasuk daerah pedesaan dengan dikelilingi sawah

3.2 Persiapan sampling (pengambilan contoh uji)

Dalam penelitian ini alat dan bahan sampling yang digunakan dapat dilihat pada Tabel 3.2.1 Alat dan bahan sampling.

Tabel 3.2.1 Alat dan bahan sampling

No	Nama Alat/bahan	Merk	Type/model
1	HVAS	SIBATA	HV-RW
2	PM10 <i>Particel separator</i>	SIBATA	PM10
4	<i>Digital orifice flow meter</i>	SIBATA	OFD 1
5	Anemo, Humidity, Thermo meter	Luthron	LM type 8000 A
6	Barometer	Luthron	PCE THB 40
7	Desikator	Lokal	-
8	Oven	Memert	UN 30
9	Kertas saring <i>Glass fiber filters</i>	Staplex	TAFGF810

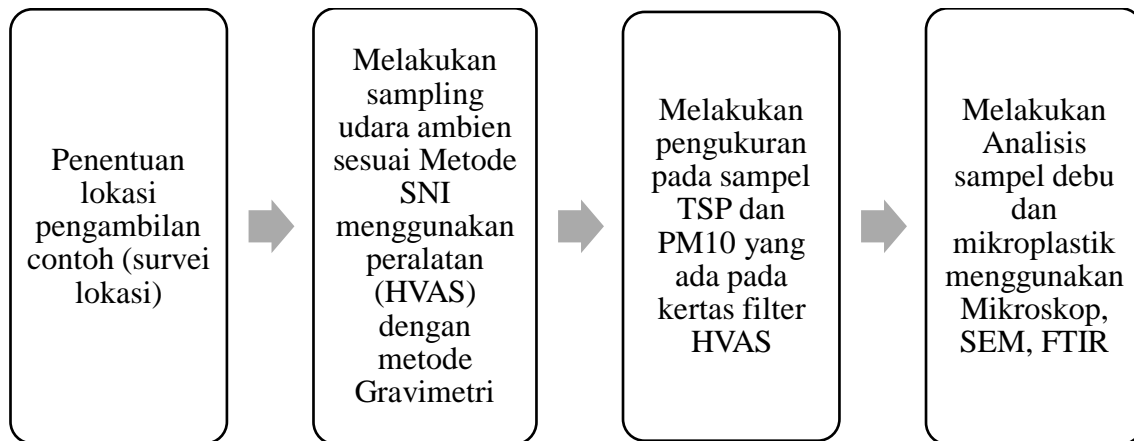
Alat dan bahan yang memadai diperlukan untuk mendapatkan data yang akurat, alat dan bahan yang digunakan untuk analisis di laboratorium dapat dilihat pada Tabel 3.3.2.

Tabel 3.2.2 Alat dan bahan analisis

No	Nama Alat/bahan	Merk	Type/model/jenis
1	<i>Filter paper 0,45 µm</i>	Whatman	Whatman 7140 104 WME
2	Kalium Iodida	Merck	Pure Analysis
3	Asam Peroxide (H ₂ O ₂)	Meck	Pure Analysis
4	Aquadest /Mili Q	Merck	-
5	Ultrasonic Bath	Hermle	Z326K

6	Shaker	IKA	KS 260
7	Mikroskop	Olimpus	CX 23
8	SEM	Phenom	Pro X
9	FTIR	Shimadzu	QATR 10

Langkah-langkah pengambilan sampel udara dalam bentuk diagram alir ditunjukkan pada Gambar 3.2 tentang prosedur pengambilan sampel.



Gambar 3.2 Prosedur pengambilan sampel

3.3 Pengambilan sampel

Pengambilan sampel dilakukan sesuai dengan lokasi dan metode yang telah ditentukan sebelumnya. Berikut merupakan tata cara pengambilan sampel udara pada setiap parameter :

3.3.1 Pengambilan sampel TSP dan PM10

Sampel yang diambil dalam penelitian ini adalah sampel debu partikulat di udara ambien dengan parameter TSP dan PM10. Dipilihnya parameter tersebut bertujuan sebagai pembandingan karakteristik jumlah, bentuk, dan warna mikroplastik udara pada setiap parameter dan lokasi. Pengambilan sampel dilakukan selama 1 x 24 jam pada setiap lokasi sampling yang berbeda. Pengambilan sampel TSP mengacu pada SNI 7119-3-2017 dan SNI 7119.15:2016 untuk PM10. Prinsip kerja alat HVAS adalah dengan menarik udara lingkungan sekitar melalui inlet dengan ukuran-selektif dan melalui filter berukuran 20,3 x 25,4 cm (8" x 10") dengan menggunakan pompa vacuum yang memiliki laju alir 1.132 L/min (40ft / menit). Laju alir dipantau saat periode pengujian 1200 L/min, selama 24 jam (Rita M et al, 2015).

HVAS merupakan salah satu alat pengambilan sampel udara, metode gravimetri

ini digunakan untuk pengukuran total suspended partikulat matter (TSP, SPM), yaitu partikulat dengan diameter $\leq 100 \mu\text{m}$. Partikel dengan diameter aerodinamis dikumpulkan oleh filter serat kaca yang dapat mengumpulkan partikel dengan kisaran diameter 100 μm sampai dengan 0,1 μm (efisiensi 99,95 % untuk ukuran partikel 0,3 μm). Massa partikel-partikel ini ditentukan oleh perbedaan bobot penyaring sebelum dan sesudah pemaparan. Konsentrasi partikel tersuspensi dalam berbagai ukuran yang ditunjuk dihitung dengan cara membagi berat dari filter dengan volume udara sampel (Budiarto, 2014). Pengambilan sampling uji dilakukan dengan tahapan sebagai berikut :

a) Persiapan filter

1. Beri identitas (nomor contoh uji) pada filter
2. Simpan filter pada ruangan yang sudah dikondisikan dengan temperatur 15°C sampai dengan 35°C dengan kelembaban relatif $\leq 50\%$ serta biarkan selama 24 jam.
3. Timbang kertas filter dengan timbangan analitik untuk mencari berat kosong kertas filter.

b) Pengambilan contoh uji

1. Tempatkan alat uji di posisi dan lokasi pengukuran menurut metode penentuan contoh uji pemantauan kualitas udara ambien sesuai SNI 19-7119.6
2. Tempatkan filter pada holder
3. Hubungkan alat HVAS dengan sumber catu daya, hidupkan alat pengambil contoh uji selama 24 jam ± 1 jam, pantau dan catat laju alir udara serta temperatur setiap jam, pastikan laju alir udara berada pada rentang 1,1 m^3/menit sampai 1,7 m^3/menit .
4. Matikan alat HVAS, pindahkan filter secara hati-hati, jaga agar tidak ada partikel yang terlepas. Lipat filter dengan posisi contoh uji berada di bagian dalam lipatan. Simpan filter tersebut ke dalam wadah penyimpanan filter dan beri identitas

Catatan : untuk parameter PM10 diperlukan penambahan alat inlet cascade impactor dengan penempatan kertas filter khusus sesuai dengan SNI. 7119.15:2016.

c) Penimbangan contoh uji

1. Simpan filter pada ruangan yang sudah dikondisikan dengan temperatur 15°C sampai dengan 35°C dengan kelembaban relatif $\leq 50\%$ serta biarkan selama 24 jam.

2. Timbang filter dan catat beratnya untuk menentukan berat isi kertas saring.

3.3.2 Pengukuran sampel meteorologi

Selama sampling dilakukan faktor klimatologi (tekanan, kecepatan angin, kelembaban dan suhu) di lakukan pengukuran dengan rentang waktu 1 jam selama 24 jam. Berikut cara pengambilan contoh uji untuk faktor meteorologi.

a) Tekanan udara, suhu dan kelembaban

Pengambilan data tekanan udara diambil dengan menggunakan alat ukur Thermo-Hygrometer merk PCE THB 40 dengan cara sebagai berikut :

1. Pasang hygrometer selama pengambilan sampel udara
2. Biarkan sampai menunjukkan angka stabil, atau catat kelembaban udara selama pengambilan sampel udara sesuai range waktu pencatatan secara manual atau otomatis
3. Catat pembacaan skala higrometer udara tanpa mengangkat terlebih dahulu dari tempat alat Hygrometer diletakkan
4. Pengukuran kelembaban dan tekanan udara dengan menggunakan Thermometer

b) Kecepatan angin

Kecepatan angin diukur dengan menggunakan alat anemometer merk Luthron Type LM-8010. Besaran yang diukur atau satuan anemometer yaitu meter per detik (m/s), mil per jam (mph), kilometer per jam (kph), atau knot. Fungsi anemometer secara umum, diantaranya adalah untuk mengukur kecepatan angin, memperkirakan kecepatan dan arah arus. memperkirakan cuaca. Berdasarkan fungsinya, terdapat dua jenis anemometer yaitu velocity anemometer dan pressure anemometer. Pressure anemometer digunakan untuk mengukur tekanan angin. Sementara velocity anemometer adalah anemometer untuk mengukur kecepatan angin. Tipe ini lebih banyak digunakan. Cara penggunaan anemometer Luthron Type LM-8010 adalah sebagai berikut :

1. Tentukan arah angin. Kamu perlu menghadap ke arah yang berlawanan dari arah angin kemudian nyalakan anemometer.
2. Pastikan layar tampilan anemometer dapat terbaca dan angin datang berhembus dari belakang layar tampilan.
3. Pada layar tampilan, perhatikan angka yang menunjukkan kecepatan angin. Jika angka kecepatan telah konstan, maka tekan tombol hold.

4. Baca dan catat angka yang muncul pada layar, dan ulangi langkah tersebut untuk pengambilan sampel selanjutnya.

3.4 Pengendalian mutu

Pengendalian mutu perlu dilakukan untuk menjamin keakuratan data baik dilakukan di lapangan maupun di laboratorium.

3.4.1 Kalibrasi alat HVAS

Laju aliran sampler udara volume tinggi (HV) termasuk HVAS dikalibrasi dengan root meter yang merupakan alat untuk mengatur kecepatan laju alir udara. Pengukur laju alir HVAS menggunakan alat digital orifice flow meter merk Sibata type OFD1 yaitu kalibrator laju aliran yang digunakan untuk pengukuran sampler udara *High Volume* (HV). OFD1 Ini adalah tipe sensor, bukan pipa kaca berbentuk U konvensional. Pengukur tekanan atmosfer dan termometer terintegrasi dalam satu perangkat, sehingga tidak perlu mengubah nilai pengukuran. Nilai numerik pada layar secara otomatis digunakan agar kalibrasi dengan seri HV-R, kalibrasi laju aliran sulit dilakukan di lokasi pengukuran jika lokasi sampling tidak memungkinkan. Penggunaan metode ini sesuai dengan *manual book* dari alat HVAS merk SIBATA HV 1000 R.

3.4.2 Uji blanko

Pengendalian mutu di lapangan dan di laboratorium digunakan untuk mengetahui bias yang ditimbulkan karena kontaminasi, deteriorasi (penurunan mutu) maupun perubahan selama pengujian di laboratorium adalah penggunaan blanko. Blanko adalah bahan analit yang diperlakukan sama dengan sampel mulai dari preparasi hingga analisis sampel, blanko yang digunakan pada penelitian ini adalah blanko media (sampling media blank) blanko media digunakan untuk mendeteksi kontaminasi berkaitan dengan media yang digunakan saat pengambilan sampel di lapangan misalnya peralatan pengambilan sampel, wadah sampel, penyaring atau filter yang digunakan. Tujuan blanko lapangan adalah untuk mendeteksi ada tidaknya kontaminasi yang berasal dari lingkungan sekitar lokasi sampling. (Anwar hadi., 2018).

Cara pengambilan blanko yaitu kertas saring (Glass fiber filter) dibungkus dengan aluminium foil dan dimasukkan ke dalam desikator terlebih dahulu dan setelah digunakan. Tempat kertas filter dan area pengumpulan sampel udara pada alat sampling HVAS dibersihkan dengan alkohol sebelum digunakan. Setelah sampel dikumpulkan,

filter ditempatkan pada nampan aluminium dan ditutup dengan aluminium foil untuk menghindari terjadinya kontaminasi mikroplastik di udara setelah pengambilan sampel.

Sedangkan pencegahan kontaminasi selama pemrosesan di laboratorium, jas lab katun dan sarung tangan nitril sekali pakai dikenakan selama proses tersebut semua prosedur laboratorium. Semua peralatan gelas dan bahan dicuci bersih dengan Milli-Q tiga kali sebelum digunakan dan ditutup dengan aluminium foil setelah dibersihkan. Semua sampel diproses dalam *Laminar Air flow* (aliran laminar). Filter kosong digunakan selama seluruh proses pengambilan sampel dipaparkan ke udara pada proses kegiatan di laboratorium dan dilakukan dengan protokol laboratorium yang sama dengan sampel sebenarnya. Hasil yang didapat pada blanko tidak ada mikroplastik ditemukan pada filter kosong lapangan. Dalam penelitian ini pencegahan kontaminasi ini sama halnya seperti penelitian yang dilakukan oleh (Danuwas Sarathana & Ekhordin Winijikul, 2023) di Bangkok, Thailand dengan judul penelitian ; Konsentrasi Mikroplastik di Udara selama Musim Kekeringan di Lima Lokasi di Wilayah Metropolitan Bangkok.

3.5 Prosedur analisis sampel

Penelitian ini dilakukan dengan pengambilan sampel secara langsung di lapangan sehingga alat dan bahan dibagi menjadi dua yaitu digunakan untuk pengambilan sampel di lokasi penelitian dan analisis sampel di laboratorium

3.5.1 Analisis TSP dan PM10

Analisis data partikulat yang dilakukan pada penelitian ini adalah mengidentifikasi konsentrasi dari parameter udara ambien yaitu TSP dan PM10 menggunakan rumus yang ada dalam SNI 7119.03:2017 dan SNI 7119.15 yaitu menghitung koreksi laju alir (Q_s) koreksi laju alir pada kondisi standar perlu dilakukan sebanyak minimal 2 kali tiap pengambilan sampel TSP dilakukan. Berikut persamaan 3.1 yang digunakan untuk menghitung koreksi laju alir pada kondisi standar:

$$Q_s = Q_o \times \left[\frac{T_s \times P_o}{T_o \times P_s} \right]^{1/2} \quad \text{Persamaan 3.1}$$

Keterangan :

- Q_s : Laju alir volume dikoreksi pada kondisi standar (m^3 /menit)
- Q_o : Laju alir volume uji (m^3 /menit)
- T_s : Temperatur standar, yaitu 298 K
- T_o : Temperatur absolut saat pengujian, $273 + T$, (K)

- Ps : Tekanan barometrik standar, yaitu 101,3 kPa (760 mmHg)
 Po : Tekanan barometrik saat pengujian (mmHg)

a) *Volume contoh uji udara (V).*

Berikut persamaan 3.2 yang digunakan untuk menghitung volume udara :

$$V_{std} = \frac{\sum_{s=1}^n(Q_s)}{n} \times t \quad \text{Persamaan 3.2}$$

Keterangan ;

- Qs : Laju alir volume dikoreksi pada kondisi standar ke-n (m³ /menit)
 t : Durasi pengambilan contoh uji (menit)
 Vstd : Volume contoh uji udara dalam keadaan standar (Nm³)
 n : Jumlah pencatatan laju alir

b) *Kosentrasi TSP di udara ambien (C)*

Berikut persamaan 3.3 yang digunakan untuk menghitung kosentrasi TSP di udara ambien:

$$C = \frac{(W_2 - W_1) \times 10^6}{V_{std}} \quad \text{Persamaan 3.3}$$

Keterangan ;

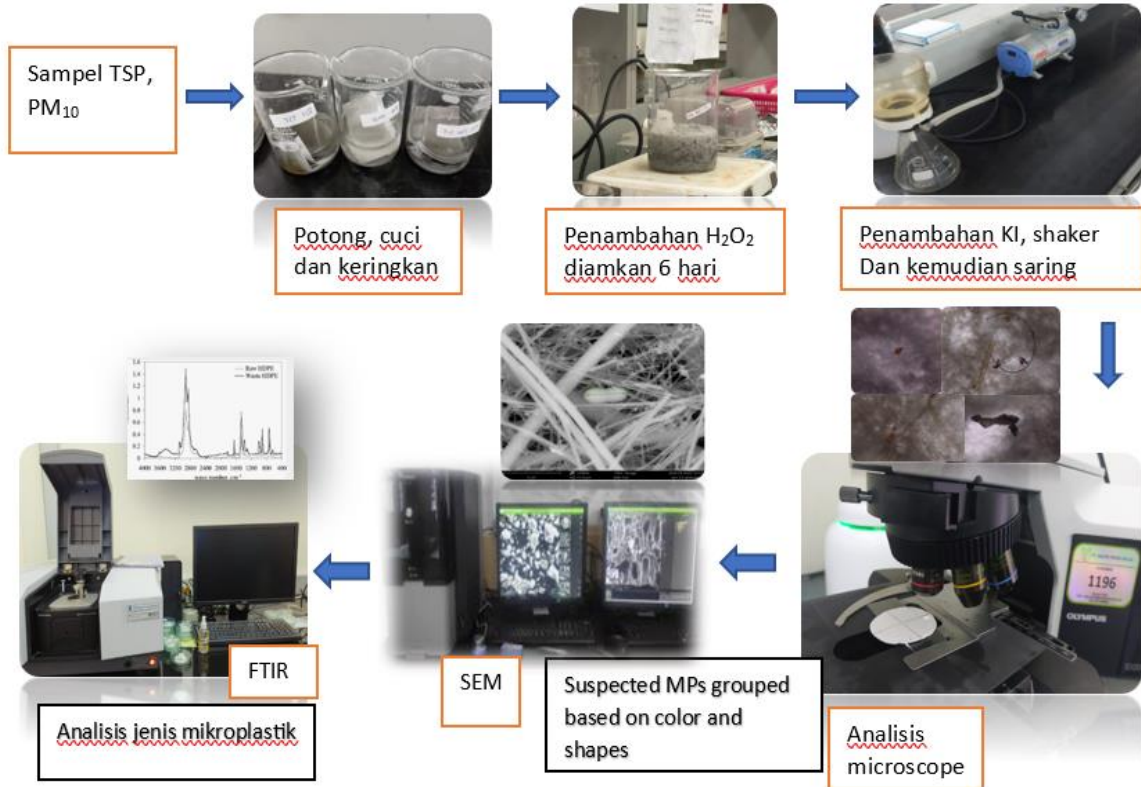
- C : Kosentrasi Total Suspended Partikulat di udara ambien (µg/Nm³)
 W2 : Berat filter setelah pengambilan sampel udara (gram)
 W1 : Berat filter sebelum pengambilan sampel udara (gram)
 10⁶ : Konversi gram ke µg
 Vstd : Volume contoh uji udara dalam keadaan standar (Nm³)

Hasil uji untuk parameter TSP dan PM10 akan dibandingkan dengan peraturan pemerintah PP Nomor 22 Tahun 2021 Tentang Penyelenggaraan Perlindungan dan Pengelolaan Lingkungan Hidup sesuai dengan lampiran VII, dimana baku mutu untuk parameter TSP adalah 230 µg/m³ dan PM10 adalah 75 µg/m³.

3.5.2 Analisis karakteristik mikroplastik

Analisis karakteristik mikroplastik bertujuan untuk mengidentifikasi dan mengkuantifikasi keberadaan partikel mikroplastik dalam sampel TSP dan PM10. Proses analisis ini meliputi persiapan sampel, ekstraksi, karakteristik dan identifikasi

mikroplastik. Dengan menerapkan prosedur yang tepat diharapkan dapat memberikan data yang akurat. Prosedur analisis sampel mikroplastik yang dilakukan ditunjukkan pada Gambar 3.5.2.



Gambar 3.5.2 Analisis sampel mikroplastik

(Sumber : Razegheh et al, 2021)

Penelitian ini mengacu pada metode penelitian yang telah dilakukan oleh (Akhbarizadeh Razegheh et al, 2021) dengan fokus parameter yaitu TSP dan PM₁₀.

Berikut adalah penjelasan langkah pada analisis sampel dalam penelitian ini :

1. Potong, cuci dan keringkan

Filter microfiber hasil dari sampling dipotong-potong menjadi bagian kecil kemudian cuci dengan aquades untuk menghilangkan kotoran yang mungkin ada di kertas filter dengan digetarkan menggunakan *ultrasonic bath*. *Ultrasonic bath* adalah alat yang menggunakan gelombang ultrasonic untuk membersihkan, mendispersikan, atau mengolah berbagai objek. Pada tahap ini kertas filter akan dimasukkan ke *ultrasonic bath* untuk menghilangkan kemungkinan kotoran yang ada di kertas. Jika tidak ada *ultrasonic bath* dapat menggunakan stirrer. Setelah selesai dari *Ultrasonic bath* filter akan dibilas

lagi menggunakan aquades kemudian akan dikeringkan menggunakan oven dengan suhu 60°C selama 24 jam.

2. Penambahan H₂O₂ (Hidrogen Peroksida)

Pada tahap ini kertas filter yang telah kering akan direndam menggunakan larutan H₂O₂ 30% selama 6 hari. Penambahan H₂O₂ dimaksudkan untuk menghilangkan senyawa organik yang mungkin ada seperti bakteri, virus, dan mikroorganisme lainnya. Menurut (Ribeiro et al, 2020) penambahan H₂O₂ juga sebagai pemutihan mikroplastik dengan tujuan meningkatkan kontras visual sehingga mempermudah identifikasi.

3. Penambahan Kalium Iodida (KI) atau Natrium chloride (NaCl)

Penambahan KI atau NaCl dilakukan untuk medium pengikat yang melarutkan atau menahan mikroplastik pada permukaan filter atau di dalam cairan endapan, kemudian saring dengan kertas filter 0,45 µm dengan bantuan pompa hisap.

3.5.3 Identifikasi mikroplastik

Alat yang digunakan untuk mengidentifikasi bentuk, warna dan ukuran mikroplastik dengan menggunakan mikroskop merk Olympus type CX 23 dan SEM merk Phenom type Pro X.

a) Mikroskop

Dalam melakukan pengamatan mikroplastik tidak dapat dilakukan dengan mata telanjang atau langsung oleh karena itu diperlukan mikroskop untuk mengamati karakteristik dari mikroplastik pada sampel uji. Mikroskop yang digunakan adalah merk Olympus type CX 23 yang memiliki kelebihan yaitu dapat dikoneksikan atau dihubungkan dengan komputer sehingga hasil pengamatan dapat terlihat di layar monitor. Penggunaan kaca preparat di bawah sampel untuk memudahkan pengamatan dan dengan mengatur lensa obyektif akan memperjelas objek/sampel yang diamati.

Perhitungan kelimpahan mikroplastik dilakukan dengan pengujian di laboratorium menggunakan mikroskop untuk mengetahui karakteristik mikroplastik pada masing-masing sampel. Rumus untuk perhitungan kelimpahan mikroplastik adalah seperti Persamaan 3.4 berikut :

$$K = n/Vstd \quad \text{Persamaan 3.4}$$

Dimana:

K : kelimpahan mikroplastik (partikel/Nm³)

Vstd : volume contoh uji udara dalam keadaan standar (Nm³)
n : jumlah mikroplastik (partikel)

Pada tahap analisis mikroplastik, sampel pada kertas saring whattman 0,45 µm dibagi menjadi 4 kuadran, kemudian dilihat secara bergantian dari sisi kiri ke sisi kanan. Sampel diamati mikroskop dengan perbesaran 4x/0.1. Analisis mikroplastik dengan mikroskop dapat mempermudah dalam menghitung jumlah mikroplastik pada setiap kertas filter whattman. Perhitungan jumlah mikroplastik dilakukan dengan cara menghitung jumlah mikroplastik yang terlihat pada komputer secara manual. Agar dapat mengidentifikasi karakteristik jenis dan warna mikroplastik peneliti melakukan riset pada studi literatur mengenai karakteristik jenis dan warna mikroplastik udara.

b) Scanning Electron Microscope (SEM)

SEM memungkinkan observasi morfologi, ukuran, dan struktur mikroplastik. Selain itu, Energy Dispersive X-ray Spectroscopy (EDS) yang terintegrasi pada SEM dapat digunakan untuk menganalisis komposisi elemen pada partikel, membantu mengidentifikasi jenis polimer yang mungkin terkandung dalam partikel mikroplastik tersebut. Dengan menggunakan SEM sampel dapat di lihat morfologi mikroplastik dengan gambar yang lebih jelas dan mendalam untuk mengukur partikel yang ada di TSP dan PM₁₀ digunakan pembesaran kurang lebih 1000 – 10.000 x hal ini tergantung juga dari ukuran partikel sampel yang akan diamati. Berikut adalah cara uji SEM ;

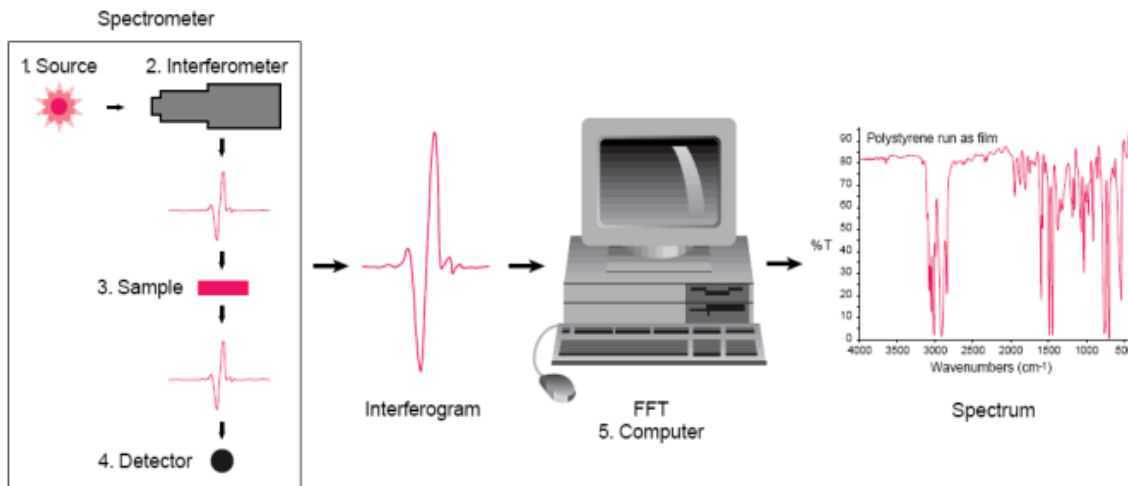
1. Setelah pengambilan sampel, filter dikeringkan dan dipotong menjadi bagian kecil yang akan dipindahkan ke slide SEM.
2. Untuk meningkatkan konduktivitas permukaan, filter sering kali dilapisi dengan lapisan tipis logam, seperti emas atau platinum, menggunakan sputter coater. Lapisan ini penting karena SEM membutuhkan sampel yang konduktif agar gambar partikel mikroplastik dapat terlihat dengan jelas (Mico, C., et al. 2015).

c) Analisis Spektrofotometer Fourier Transform Infra Red (FTIR)

Metode identifikasi dan deteksi mikroplastik yang paling umum digunakan adalah metode *spektroskopi fourier transform infrared* (FTIR). Metode spektroskopi (FTIR dan Raman) merupakan dua metode yang paling populer untuk identifikasi mikroplastik. Metode ini mengidentifikasi partikel mikroplastik melalui spektrum getarannya yang unik untuk setiap jenis polimer sehingga dapat dimasukkan ke dalam pengaturan mikroskopis

yang memungkinkan pencitraan kimia (Xu et al, 2019). Metode FTIR menghasilkan kemampuan deteksi dan identifikasi mikroplastik yang jauh lebih maju (Hale et al, 2020) hal ini dikarenakan spektroskopi inframerah memungkinkan batas deteksi mikroplastik hingga 5-10 μm (Mintening et al, 2017; Yang et al, 2021).

FTIR Shimadzu type QATR 10 digunakan untuk menganalisis jenis polymer mikroplastik yang diperoleh dalam sampel TSP dan PM10. FTIR merupakan suatu alat untuk mengidentifikasi keberadaan senyawa mikroplastik berdasarkan kekuatan penyerapan/absorbansi senyawa pada panjang gelombang tertentu. Prinsip kerja FTIR adalah dengan melewati sinar inframerah pada sampel melalui interferometer. Sinar inframerah yang terserap disebut interferogram yang berbentuk spektra yang akan dibaca oleh komputer. Penyerapan ini berkaitan dengan sifat ikatan dalam molekul sampel. Terdapat dua mode getaran dalam molekul yaitu *stretching* (*symmetric* dan *asymmetric*) dan *bending* (*wagging*, *rocking*, *twisting* dan *scissoring*). Mode getaran *stretching* umumnya terjadi pada energi yang lebih tinggi jika dibandingkan dengan mode getaran *bending* (Khan et al, 2018). Gambar 3.5.3. menunjukkan Prinsip spektroskopi FTIR



Gambar 3.5.3 Prinsip spektroskopi FTIR

Pada FTIR spektra diukur sebagai bilangan gelombang karena bilangan gelombang berhubungan langsung dengan energi frekuensi, sehingga memberikan sinyal yang mudah untuk menginterpretasikan spektra. Spektra yang dihasilkan akan dicocokkan dengan perpustakaan (*library*) spektra yang terdapat dalam FTIR. Sehingga dapat digunakan untuk mendeteksi jenis polimer melalui sidik jari sampel dengan puncak serapan sesuai dengan mode getaran antara ikatan atom-atom penyusun sampel. Hal ini

dikarenakan setiap bahan polimer memiliki kombinasi atom yang unik, tidak ada polimer yang menghasilkan spektra inframerah yang persis sama. Oleh karena itu FTIR dapat dengan mudah digunakan untuk mengidentifikasi gugus fungsi dalam suatu molekul sampel (Khan et al, 2018)

Pengujian FTIR ini dapat digunakan untuk mengidentifikasi senyawa yang tidak diketahui atau mengonfirmasi identitas senyawa yang diketahui. Identifikasi mikroplastik pada sampel udara pada debu TSP dan PM10 di Yogyakarta setelah diamati secara visual menggunakan alat mikroskop dan SEM, kemudian dilakukan analisa lebih lanjut mengenai jenis mikroplastik yang diperoleh dengan menggunakan alat FTIR merk Shimadzu type-QATR 10.

Identifikasi mikroplastik ini dilakukan untuk mengetahui jenis polimer yang ditemukan pada parameter TSP dan PM10 di semua lokasi pengamatan. Dalam pengamatan FTIR dapat dianalisa jenis polimer yang akan dibandingkan dengan standar dari instrumen FTIR (*library*).

3.6 Analisis data

Analisis data pada penelitian ini menggunakan analisis deskriptif yang hasilnya dalam bentuk tabel dan gambar kemudian analisis statistik untuk mengetahui sejauh mana hubungan antar variabel

3.6.1 Analisis deskriptif, kuantitatif

Analisis mikroplastik pada polutan TSP dan PM10 di lokasi penelitian dilakukan dengan analisis deskriptif secara kualitatif yaitu dengan pengamatan visual. Analisis deskriptif ini bertujuan untuk menggambarkan keadaan sesungguhnya tentang keberadaan mikroplastik di lokasi penelitian. Hasil analisis tersebut akan disajikan dalam bentuk kalimat dan tabel yang dapat menggambarkan objek penelitian. Analisis data yang dijalankan mencakup identifikasi serta klasifikasi mikroplastik, dengan fokus pada jumlah, jenis, dan warna mikroplastik pada sampel udara yang diambil. Proses analisis ini dilakukan di laboratorium dengan memanfaatkan mikroskop dan SEM untuk mendapatkan hasil yang akan dibandingkan dengan sumber referensi yang ada sehingga data yang didapat akurat.

Analisis data polutan menunjukkan hasil dari perhitungan konsentrasi pada pengukuran sampel TSP dan PM10 dari data yang sudah dihitung disajikan dalam bentuk statistik berupa tabel dan grafik sehingga lebih mudah untuk dilihat perbandingannya

dengan standar baku mutu yang berlaku. Standar yang digunakan untuk perbandingan adalah PP nomor 22 Tahun 2021 tentang Penyelenggaraan Perlindungan dan Pengelolaan Lingkungan Hidup. Analisis data mikroplastik udara menyajikan jumlah mikroplastik pada masing-masing lokasi sampling dan mengklasifikasikannya sesuai dengan karakteristik jenis dan warna yang berada pada setiap parameter, data tersebut ditampilkan dalam bentuk grafik dan persentase.

3.6.2 Analisis korelasi

Analisis statistik yang digunakan pada penelitian ini adalah korelasi Spearman dimana metode statistic ini digunakan untuk mengukur hubungan monotonik antara dua variabel ordinal atau variabel kontinu yang tidak memiliki asumsi distribusi normal. Tidak seperti korelasi Pearson, korelasi Spearman tidak membutuhkan data yang berdistribusi normal, menjadikannya cocok untuk data dengan distribusi yang tidak simetris atau data dengan skala ordinal.

Koefisien korelasi Spearman dihitung dengan rumus:

$$rs = 1 - \frac{6 \sum d_i^2}{n(n^2-1)} \quad \text{Persamaan 3.5}$$

Dimana

d_i : Selisih antara peringkat variabel pertama dan kedua

n : Jumlah pasangan data

Nilai rs berkisar antara -1 hingga 1, dengan 1 menunjukkan korelasi positif sempurna, -1 menunjukkan korelasi negatif sempurna, dan 0 menunjukkan tidak ada korelasi.

a) Tujuan Analisis korelasi Spearman

1. Melihat tingkat kekuatan (keamatan) hubungan dua variabel
2. Melihat arah (jenis) hubungan dua variabel
3. Melihat apakah hubungan tersebut signifikan atau tidak.

b) Kriteria Tingkat Kekuatan Korelasi

Dalam menentukan tingkat kekuatan hubungan antar variabel, dapat berpedoman pada nilai koefisien korelasi (r) dengan ketentuan:

1. Nilai koefisien korelasi sebesar 0,00 – 0,199 = hubungan sangat lemah
2. Nilai koefisien korelasi sebesar 0,20 – 0,399 = hubungan lemah
3. Nilai koefisien korelasi sebesar 0,40 – 0,599 = hubungan cukup

4. Nilai koefisien korelasi sebesar $0,60 - 0,799 =$ hubungan kuat
5. Nilai koefisien korelasi sebesar $0,80 - 1,000 =$ hubungan sangat kuat
6. Nilai koefisien korelasi sebesar $1,00 =$ hubungan sempurna

c) Kriteria Arah Korelasi

Arah korelasi dilihat pada angka koefisien korelasi sebagaimana tingkat kekuatan korelasi. Besarnya nilai koefisien korelasi tersebut terletak antara $+ 1$ sampai dengan $- 1$. Jika koefisien korelasi bernilai positif, maka hubungan kedua variable dikatakan searah. Maksud dari hubungan yang searah ini adalah jika variable X meningkat maka variable Y juga akan meningkat. Sebaliknya, jika koefisien korelasi bernilai negative maka hubungan kedua variable tersebut tidak searah. Tidak searah artinya jika variable X meningkat maka variable Y akan menurun.

d) Kriteria Signifikansi Korelasi

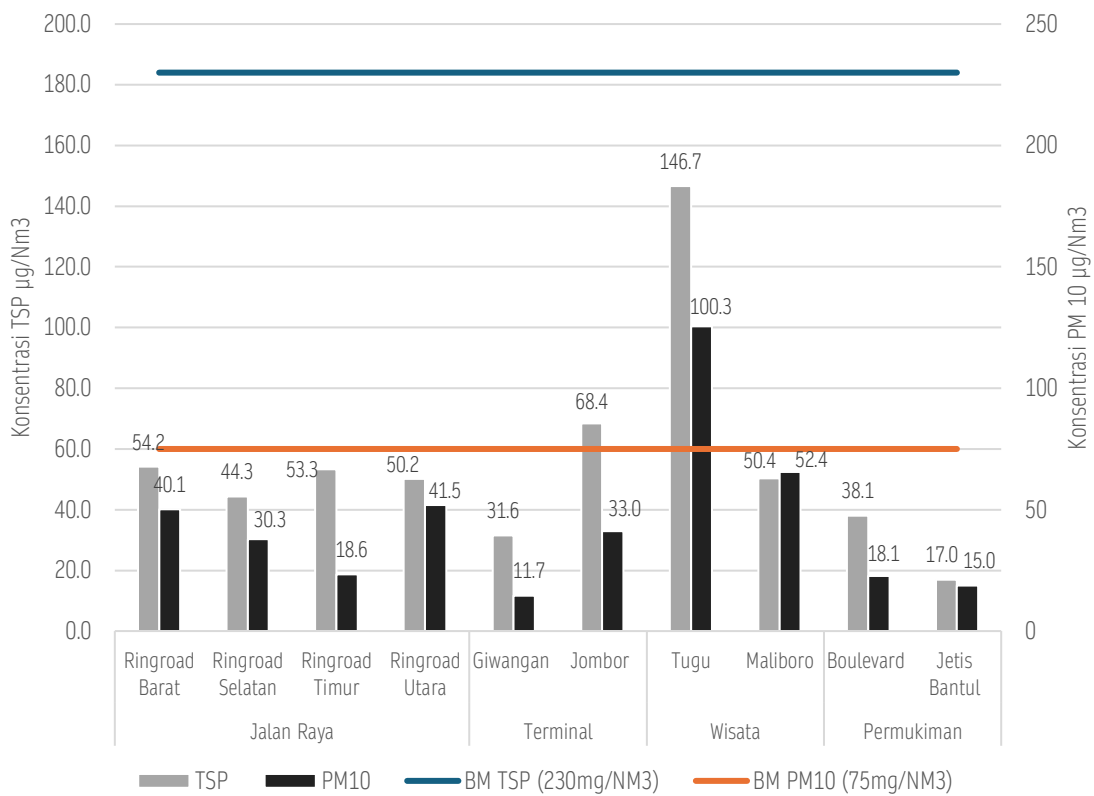
Kekuatan dan arah korelasi (hubungan) akan mempunyai arti jika hubungan antar variable tersebut bernilai signifikan. Dikatakan ada hubungan yang signifikan, jika nilai Sig. (2-tailed) hasil perhitungan lebih kecil dari nilai $0,05$ atau $0,01$. Sementara itu, jika nilai sig. (2-tailed) lebih besar dari $0,05$ atau $0,01$, maka hubungan antar variable tersebut dapat dikatakan tidak signifikan atau tidak berarti. Keunggulan dan aplikasi analisis Spearman cocok untuk data yang tidak linier atau yang memiliki outlier, serta untuk pengujian hipotesis tentang dua variabel ordinal.

BAB IV

HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Konsentrasi TSP dan PM10

Gambar 4.1.1 menunjukkan jumlah konsentrasi TSP dan PM10 dibandingkan dengan baku mutu PP 22 tahun 2021 tentang Penyelenggaraan Perlindungan dan Pengelolaan Lingkungan Hidup.

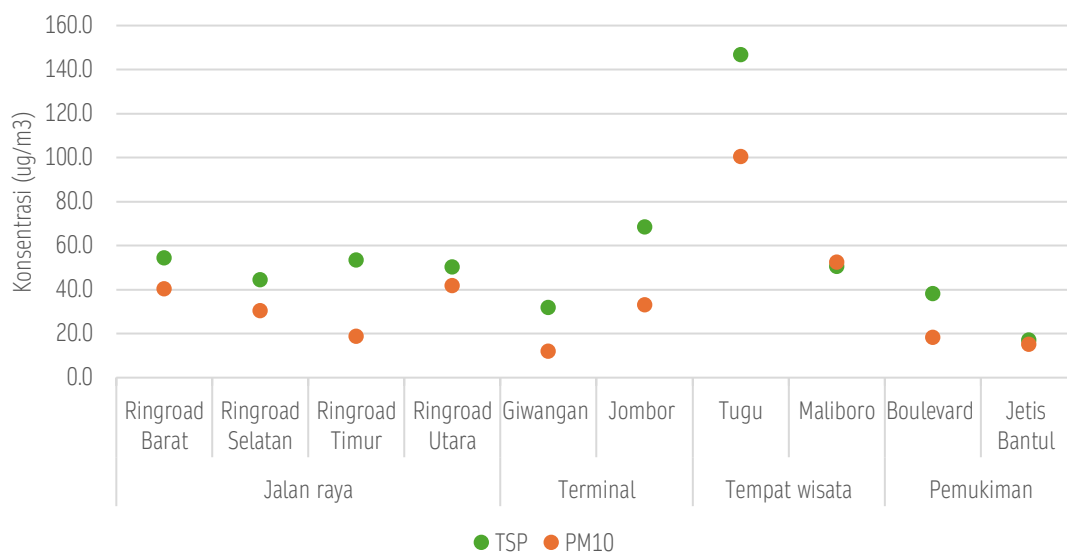


Gambar 4.1.1 Konsentrasi TSP dan PM10 dibandingkan dengan baku mutu

Kawasan pada aktivitas transportasi cenderung relatif sama dengan nilai rata-rata konsentrasi yaitu $50,3 \mu\text{g}/\text{Nm}^3$ dengan nilai tertinggi di lokasi terminal Jombor $68,4 \mu\text{g}/\text{Nm}^3$ dan terendah di terminal Giwangan $31,6 \mu\text{g}/\text{Nm}^3$. Sedangkan PM10 nilai konsentrasi rata-rata $29,2 \mu\text{g}/\text{Nm}^3$ tertinggi di lokasi Ringroad utara dan terendah di lokasi Giwangan (Kawasan wisata). Tingginya konsentrasi partikel PM10 disebabkan oleh beberapa faktor diantaranya adalah volume lalu lintas, aktivitas wisata, kualitas jalan dan kondisi lingkungan sekitar juga dapat mempengaruhi seperti masih banyak permukaan

tanah yang terbuka yang dapat mengangkat debu (Chow, j.C & Watson, J.G. 2002). Gedung bertingkat dapat memblokir aliran udara, mengurangi dispersi PM10 dan meningkatkan konsentrasi PM10 (Zhou et al, 2017), (Qi et al, 2018) hal ini mirip dengan lokasi pengambilan contoh di lokasi Tugu (area wisata) dimana untuk lokasi Tugu ini untuk kedua parameter yaitu TSP dan PM10 mempunyai nilai konsentrasi tertinggi dibandingkan dengan lokasi lainnya.

Titik sampling pada lokasi Tugu ini berada di pedestrian bahu jalan berdekatan dengan *traffic light* simpang Tugu dan banyak pengunjung yang berada di sekitar lokasi pengambilan contoh, seperti pejalan kaki dan wisatawan yang duduk dan merokok. Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan oleh (Farihah et al, 2021), didapatkan bahwa kegiatan merokok sangat berpengaruh terhadap kualitas udara didalam rumah ditinjau dari konsentrasi PM10 baik *indoor* maupun *outdoor*. Lebih dari 70% sumber pencemar di Indonesia berasal dari kendaraan bermotor, terutama di kota-kota besar di Indonesia (Ismiyati et al, 2014). Kepadatan lalu lintas yang tinggi disebabkan karena jarak antar simpang terdekat hanya sekitar 700 meter sehingga akan mengakibatkan kendaraan berhenti di simpang tersebut cukup lama.



Gambar 4.1.2 Hubungan konsentrasi TSP dan PM10 di semua lokasi

Gambar 4.1.2 diatas menunjukkan hubungan antara TSP dan PM10 walaupun cenderung sama akan tetapi tidak selalu bersifat linier karena TSP mencakup berbagai ukuran partikel yang lebih besar dari 10 mikrometer, yang sering kali tidak memiliki

korelasi langsung dengan PM10. Hal ini ditunjukkan dengan koefisien korelasi antara TSP dan PM10 pada Tabel 4.1.1.

Tabel 4.1.1 Korelasi antara konsentrasi TSP dengan PM10

Korelasi Spearman	r_s	p (2-tailed)	Kesimpulan
Konsentrasi TSP dengan PM10	0.75758	0.01114	(p<0.05) signifikan secara statistik.

Tabel 4.1.1 menunjukkan bahwa nilai koefisien dari konsentrasi TSP dan PM10 memiliki hubungan kuat, kedua variabel signifikan secara statistik. Dengan demikian dapat disimpulkan bahwa ada hubungan korelasi yang signifikan antara konsentrasi TSP dengan PM10 di semua lokasi pengambilan contoh uji. Walaupun demikian kuatnya hubungan belum tentu bersifat linear.

Hubungan kuat antara TSP dan PM10 dipengaruhi oleh faktor-faktor seperti ukuran partikel, proses atmosfer (misalnya, deposisi, agregasi partikel), serta sumber emisi yang berbeda (contohnya emisi kendaraan menghasilkan lebih banyak PM10, sementara konstruksi menghasilkan partikel yang lebih besar) dapat menyebabkan variasi dalam proporsi PM10 terhadap TSP. Dengan demikian, dalam kondisi tertentu, peningkatan TSP tidak selalu diikuti dengan peningkatan PM10 yang proporsional, sehingga hubungan keduanya bersifat non-linier (Seinfeld & Pandis, 2016; Geller et al, 2018).

Kondisi angin rendah, partikel yang lebih besar dari 10 mikrometer (bagian dari TSP tetapi bukan PM10) dapat tetap berada di udara lebih lama, meningkatkan TSP tanpa menambah PM10 secara signifikan. Faktor meteorologi lain, seperti kelembaban dan hujan, dapat mempengaruhi partikel-partikel kasar berbeda dari partikel yang lebih halus, juga menyebabkan ketidaklinieran dalam hubungan TSP dan PM10 (Yin et al, 2017; Shen et al, 2019). Hal tersebut dapat terjadi juga karena waktu pengambilan sampel ini dilakukan pada musim pancaroba dimana menurut Badan Meteorologi Klimatologi dan Geofisika (BMKG) di Indonesia musim pancaroba terjadi pada bulan Maret sampai April.

Dalam penelitian (Shakya et al, 2017) yang dilakukan di Nepal diperoleh bahwa konsentrasi PM mengalami peningkatan pada jam 7-9 pagi dan pada jam 5-7 malam saat musim dingin. Hal tersebut disebabkan oleh meningkatnya koagulasi dan kondensasi partikulat dari knalpot kendaraan yang bertepatan dengan menurunnya ketinggian lapisan pencampuran (*inverse*), temperatur rendah dan kelembapan relatif yang tinggi.

Tabel 4.1.2 Penelitian terdahulu pengaruh faktor meteorologi terhadap PM10

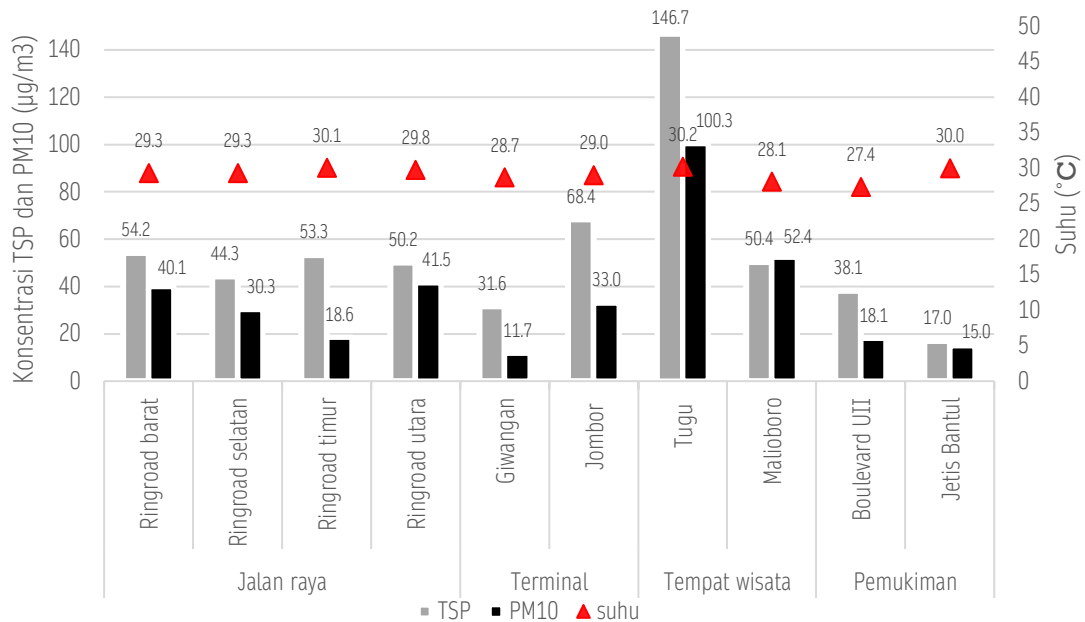
No	Peneliti dan Tahun	Lokasi paenelitian	Faktor meteorologi yang berpengaruh	Hasil temuan
1	National Pollution Inventory, 2013	Italia	Kelembaban, suhu, kecepatan angin, ketinggian	Konsentrasi PM10 berkorelasi positif dengan kelembaban dan negative dengan suhu, kecepatan angin serta ketinggian
2	Zang et al, 2015	Beijing, China	Kecepatan angin, curah hujan, suhu	Kecepatan angin menurunkan PM10, curah hujan membersihkan udara dan suhu meningkatkan polusi
3	Syahri et al, 2016	Padang, Sumatra Barat	Arah dan kecepatan angin, suhu	Angin membawa PM10 dari kebakaran hutan, terutama saat angin mengarah ke lokasi studi
4	Buletin GAW, 2020	Surabaya	Angin, curah hujan	Angin membantu penyebaran PM10, sementara curah hujan menurunkan konsentrasi PM10
5	Aditya et al, 2022	Jakarta	Curah hujan, kelembaban, suhu, kecepatan angin	Curah hujan dan angin mengurangi PM10 sedangkan suhu meningkatkan PM10, kelembaban bervariasi

4.2 Faktor Meteorologi

Kondisi meteorologi juga dapat berkontribusi terhadap peningkatan partikulat seperti, kecepatan angin, suhu dan kelembaban (Li et al, 2019), (Miri et al, 2016). Parameter meteorologi dalam penelitian ini adalah suhu, kelembaban dan kecepatan angin. Selama pengambilan sampel dilakukan rata-rata keadaan cuaca di semua lokasi cukup cerah meskipun beberapa tempat menunjukkan cuaca mendung namun hanya sebentar dan kembali cerah. Berikut adalah pengukuran faktor meteorologi pada studi ini

4.2.1 Pengaruh suhu udara

Hubungan suhu dan kelembaban dengan konsentrasi TSP dan PM10 di semua lokasi sampling dapat dilihat pada Gambar 4.2.1.



Gambar 4.2.1 Hubungan suhu dengan konsentrasi TSP dan PM10 di semua lokasi

Dari Gambar 4.2.1 dapat dilihat bahwa suhu tidak berbeda signifikan pada semua lokasi sampling. Suhu terendah terdapat di lokasi UII hal ini dapat disebabkan karena letak geografis lokasi tersebut lebih tinggi daripada lokasi lainnya. Berdasarkan data dari Pusat Vulkanologi dan Mitigasi Bencana Geologi (PVMBG) dan Badan Informasi Geospasial (BIG) wilayah Yogyakarta memiliki ketinggian 522 mdpl pada area pusat kota dan kawasan yang lebih rendah sekitar 113 mdpl sedangkan wilayah yang lebih tinggi seperti bagian utara yang menuju ke arah gunung merapi dapat mencapai hingga 500 mdpl. Lokasi UII berada di ketinggian 522 mdpl hal ini menyebabkan suhu terendah berada di lokasi tersebut dibandingkan dengan lokasi lainnya, Sedangkan semakin tinggi suhu maka konsentrasi debu semakin besar pula, hal ini terlihat pada lokasi Tugu dimana suhu tertinggi 30,2⁰ C dengan konsentrasi TSP dan PM10 tertinggi dari semua lokasi pengambilan contoh. Korelasi konsentrasi TSP dan PM10 dapat di lihat pada Tabel 4.2.1.

Tabel 4.2.1 Korelasi konsentrasi TSP dan PM10 dengan suhu

Korelasi Spearman	r _s	p (2-tailed)	Kesimpulan
TSP dengan Suhu	0.32219	036393	tidak signifikan secara statistik.
PM ₁₀ dengan Suhu	0.23708	0.50956	tidak signifikan secara statistik.

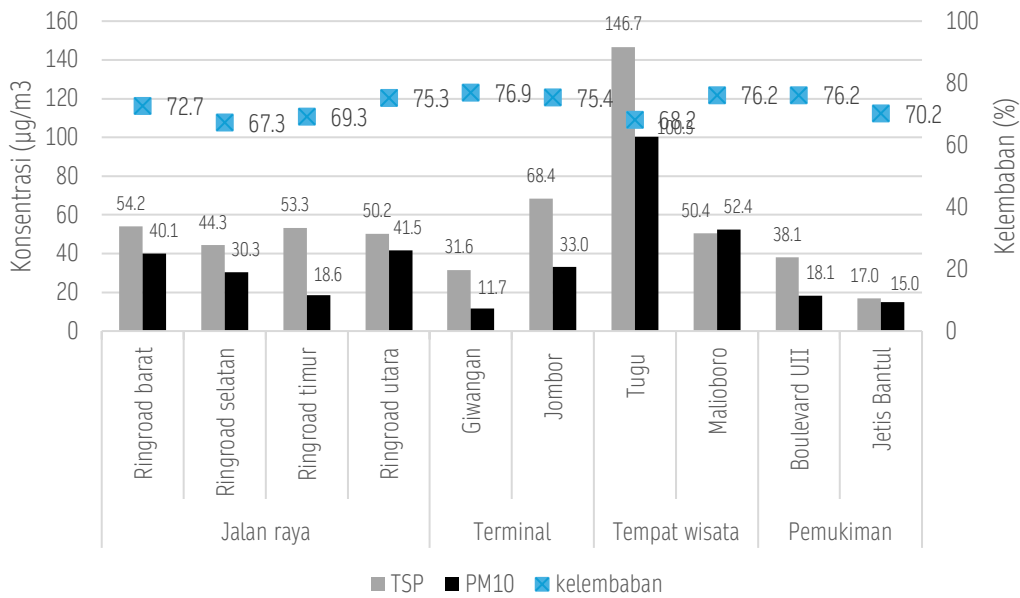
Kesimpulan dari hasil perhitungan korelasi hubungan TSP dan PM10 dengan suhu

menunjukkan hasil yang tidak signifikan secara statistik. Perbedaan hubungan antara konsentrasi TSP dan PM10 terhadap suhu tersebut sering disebabkan oleh perbedaan sifat fisik dan kimiawi dari kedua jenis partikel, serta faktor lingkungan yang mempengaruhi distribusinya di udara. TSP mencakup semua partikel yang tersuspensi di udara, termasuk partikel kasar dan partikel halus. Karena TSP meliputi beragam ukuran partikel interaksinya lebih kompleks, ketika suhu meningkat pergerakan udara cenderung naik (*konveksi*), yang bisa mengurangi konsentrasi TSP di permukaan tanah karena partikel-partikel dapat terdorong ke lapisan udara yang lebih tinggi disisi lain suhu yang lebih tinggi, terutama di daerah perkotaan dapat meningkatkan laju pembentukan polutan primer seperti debu jalan atau emisi dari aktivitas kendaraan dan industri hal ini bisa meningkatkan konsentrasi TSP di udara pada area tertentu (Tiwari et al, 2014) Sedangkan hubungan suhu dengan PM10 adalah jika suhu tinggi dapat meningkatkan penguapan senyawa organik volatil (*Volatil Organic Compounds*) yang menjadi *prekursor* (bahan pembentuk) pembentukan partikel sekunder PM10. Hal ini menyebabkan peningkatan konsentrasi PM10, ketika suhu naik, terutama di lingkungan perkotaan dengan aktivitas transportasi dan industri tinggi (Dominick et al, 2015).

Suhu dan kelembaban adalah faktor meteorologi yang berperan penting dalam memengaruhi konsentrasi TSP dan PM10 di udara. Peningkatan suhu cenderung mempercepat reaksi fotokimia yang menghasilkan partikulat sekunder, yang dapat meningkatkan konsentrasi PM10 di atmosfer. Disisi lain, suhu juga dapat mempengaruhi turbulensi udara dan pergerakan vertikal partikel, yang memungkinkan terjadinya dispersi partikel sehingga mengurangi konsentrasi PM10 dan TSP di area tertentu (Wu et al, 2019; Chen et al, 2018). Suhu tinggi dapat mempercepat reaksi kimia yang membentuk partikulat sekunder, sementara suhu rendah mengurangi disperse PM10 (Li et al, 2019), (Miri et al, 2016).

4.2.2 Pengaruh kelembaban udara

Faktor meteorologi yang berpengaruh selain suhu adalah kelembaban udara. Berikut ini adalah hubungan kelembaban dan konsentrasi TSP dan PM10 di semua lokasi (Gambar 4.2.2).



Gambar 4.2.2 Hubungan kelembaban udara dengan konsentrasi TSP dan PM10 di semua lokasi

Gambar diatas menunjukkan bahwa kelembaban udara berbanding terbalik dengan temperatur, dimana suhu meningkat kelembaban akan turun. Hal ini ditunjukkan pada rata-rata pengukuran suhu dan kelembaban selama pengambilan data dilakukan di semua lokasi titik sampel, nilai suhu tertinggi $30,2^{\circ}$ C berada di lokasi Tugu sedangkan nilai kelembaban rendah ($<70\%$) pada lokasi ; ringroad selatan, ringroad timur dan Tugu selain di lokasi tersebut nilai kelembaban lebih besar dari 70% sehingga kondisi udara yang lembab akan membantu proses pengendapan bahan pencemar, dengan keadaan udara yang lembab maka beberapa bahan pencemar berbentuk partikel (debu) akan berikatan dengan air yang ada di dalam udara dan membentuk partikel yang berukuran lebih besar sehingga mudah mengendap. Korelasi konsentrasi TSP dan PM10 dengan kelembaban dapat dilihat pada Tabel 4.2.2.

Tabel 4.2.2 Korelasi konsentrasi TSP dan PM10 dengan kelembaban

Korelasi Spearman	r_s	p (2-tailed)	Kesimpulan
TSP dengan kelembaban	-0.2918	0.41333	tidak signifikan secara statistik.
PM10 dengan kelembaban	-0.24924	0.48741	tidak signifikan secara statistik.

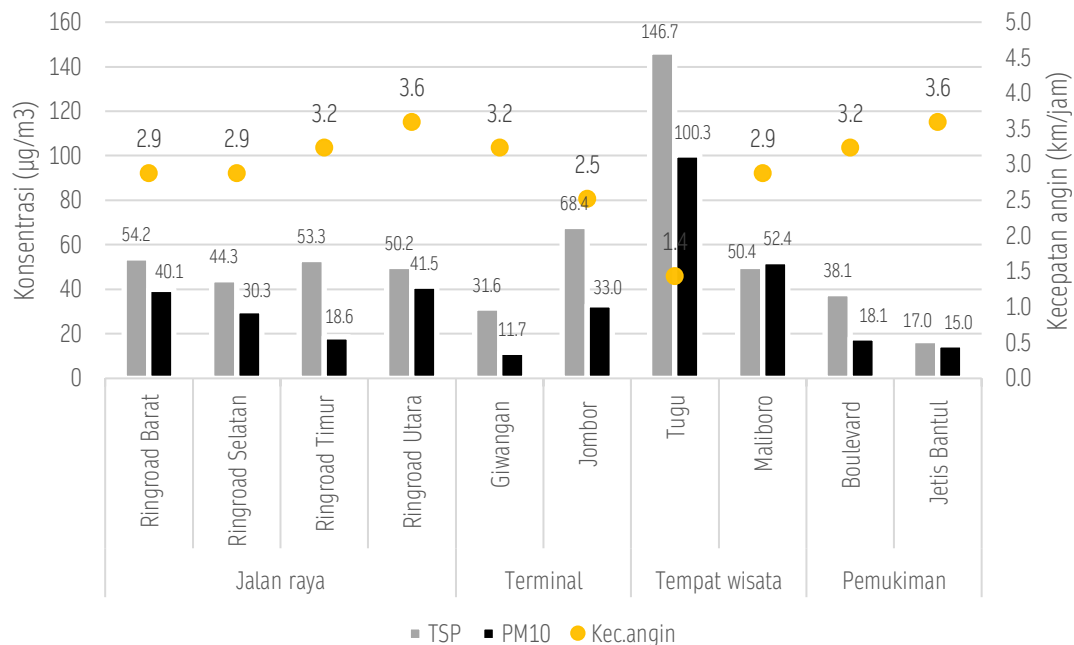
Tabel 4.2.2 menunjukkan bahwa hubungan konsentrasi TSP dan PM10 dengan kelembaban berhubungan negatif dan lemah, artinya kelembaban udara di lokasi studi tidak berpengaruh kuat terhadap konsentrasi TSP dan PM10

Kelembaban berperan dalam membentuk aerosol cair, di mana pada kelembaban

tinggi, partikel-partikel dapat saling beragregasi dan menghasilkan peningkatan konsentrasi TSP dan PM10. Akan tetapi, kelembaban tinggi juga dapat mempercepat deposisi partikel ke permukaan tanah atau vegetasi, sehingga pada kondisi tertentu justru mengurangi konsentrasi partikulat di udara (Wang et al, 2020; Sharma & Jain, 2021). Kelembaban tinggi dapat meningkatkan agregasi partikel, tetapi juga dapat mempercepat deposisi partikel PM10 dari atmosfer (Cheng et al, 2021), (Park et al, 2019). Kelembaban udara memiliki dampak pada partikel debu, dimana pada tingkat kelembaban yang tinggi, partikel debu akan terhubung dengan air sehingga menyebabkan penurunan konsentrasi debu (Ahmad et al, 2014).

4.2.3 Pengaruh kecepatan udara

Faktor meteorologi selain suhu dan kelembaban adalah kecepatan angin. Hubungan konsentrasi TSP, PM10 dan kecepatan angin pada penelitian ini dapat di lihat pada Gambar 4.2.3.



Gambar 4.2.3 Hubungan kecepatan angin dengan konsentrasi TSP dan PM10 di semua lokasi

Gambar 4.2.3 menunjukkan hubungan antara konsentrasi TSP dengan kecepatan angin nilai rata-rata kecepatan angin semua lokasi adalah 3,0 Km/jam dengan nilai tertinggi di lokasi ringroad Utara (3,6 Km/jam) dan terendah di Tugu (1,4 Km/jam).

Korelasi antara konsentrasi TSP dan PM10 dapat dilihat pada Tabel 4.2.3.

Tabel 4.2.3 Korelasi kecepatan angin dan konsentrasi TSP dan PM10

Korelasi Spearman	r_s	p (2-tailed)	Kesimpulan
TSP dengan kecepatan angin	-0.76666	0.00968	signifikan secara statistik.
PM10 dengan kecepatan angin	-0.5672	0.08727	tidak signifikan secara statistik.

Dari Tabel 4.2.3 dapat dilihat bahwa TSP memiliki hubungan negatif yang cukup kuat dengan kecepatan angin, artinya semakin tinggi kecepatan angin maka konsentrasi TSP mengalami penurunan. Sedangkan PM10 walau memiliki hubungan yang cukup ($r = -0,56$) akan tetapi tidak signifikan.

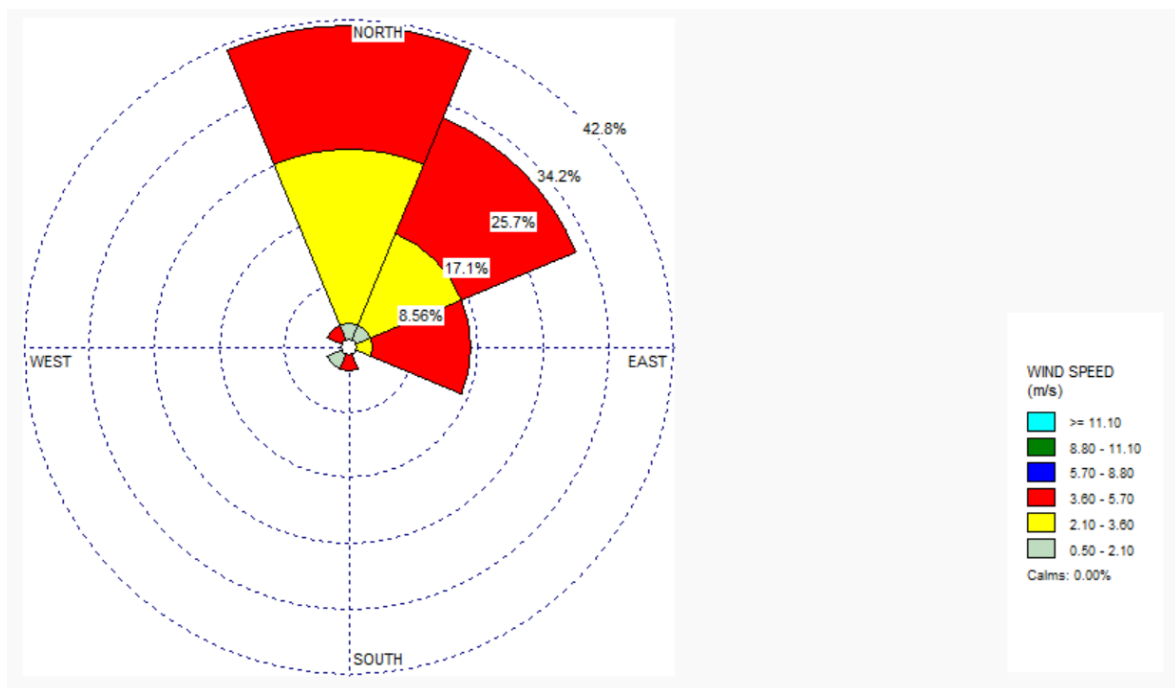
Secara umum, kecepatan angin yang tinggi membantu menyebarkan partikel polutan ke area yang lebih luas, sehingga menurunkan konsentrasi partikulat di satu lokasi. Dengan meningkatnya angin, partikel-partikel di udara terdispersi dan terdilusi, mengurangi akumulasi PM10 dan TSP di daerah sumbernya (Chen et al, 2019; Zhao et al, 2020). Sebaliknya, pada lokasi dengan kecepatan angin yang rendah, terjadi penumpukan konsentrasi partikulat di udara. Hal ini karena angin yang lemah tidak cukup kuat untuk mendispersikan partikel, sehingga partikulat seperti TSP dan PM10 tetap berada di sekitar area sumber polusi. Akibatnya, konsentrasi partikulat di lokasi tersebut menjadi lebih tinggi. Selain itu, pada kondisi angin rendah, polutan dapat tertahan dalam lapisan udara yang lebih dekat dengan permukaan tanah, yang sering kali meningkatkan risiko paparan polusi udara bagi masyarakat (Li et al, 2020; Wu et al, 2018). Tanah terbuka cenderung berpotensi menghasilkan debu (PM10) yang tinggi, terutama di area dengan aktivitas konstruksi atau lalu lintas kendaraan. Keberadaan vegetasi pada tanah terbuka dapat menurunkan konsentrasi PM10 (Chen et al, 2020), (Zhang et al, 2019). Disamping itu, Gedung bertingkat dapat memblokir aliran udara, mengurangi dispersi PM10 dan meningkatkan konsentrasi PM10 (Zhou et al, 2017), (Qi et al, 2018). Hal ini ditunjukkan pada lokasi Tugu dimana kecepatan angin rendah sedangkan konsentrasi TSP dan PM10 cukup tinggi. Tugu merupakan kawasan pariwisata dan didominasi Gedung-gedung tinggi (hotel)

Selain kecepatan angin, arah angin merupakan satu faktor meteorologi yang dapat mempengaruhi konsentrasi debu dengan parameter TSP dan PM10 di udara roadside. Arah angin dapat menyebabkan bahan pencemar yang diemisikandari sumber-sumber pencemar udara akan menyebar ke atmosfer melalui proses dispersi, selanjutnya akan

terakumulasi disuatu tempat sehingga tidak hanya di sekitar sumber pencemar saja yang memiliki Tingkat pencemaran tinggi melainkan di daerah disekitarnya (Soedomo, 2001) Konsentrasi partikel PM10 dapat dipengaruhi oleh perbedaan tempat atau adanya heterogenitas secara special. Selain itu musim juga memberikan pengaruh pada konsentrasi partikel debu TSP dan PM10. (Chaloulakou, et al). Perbedaan stabilitas atmosfer urban cukup kontras pada siang dan malam hari, sehingga akan mempengaruhi pola disperse pencemar secara durnal (Finn et al, 2010)

4.2.4 Pengaruh arah angin

Arah angin dominan saat pengambilan sampel di Yogyakarta cenderung ke arah utara dengan prosentase 42 % ditunjukkan pada gambar berikut



Gambar 4.2.4 Arah angin dominan di lokasi sampling

Letak geografis Yogyakarta, yang dikelilingi oleh gunung Merapi di sebelah utara dan samudera Hindia di selatan, memang mempersulit prediksi polusi udara berbasis arah angin. Kota ini umumnya memiliki kecepatan angin yang rendah, terutama selama musim kemarau, yang membuat polusi sulit menyebar jauh dan menyebabkan penumpukan polutan. Keadaan ini diperparah oleh aktivitas vulkanik gunung Merapi, yang dapat melepaskan abu vulkanik secara tiba-tiba. Abu dan debu ini sering kali menyebar ke wilayah sekitar Yogyakarta saat arah angin mendukung, terutama Ketika angin mengarah

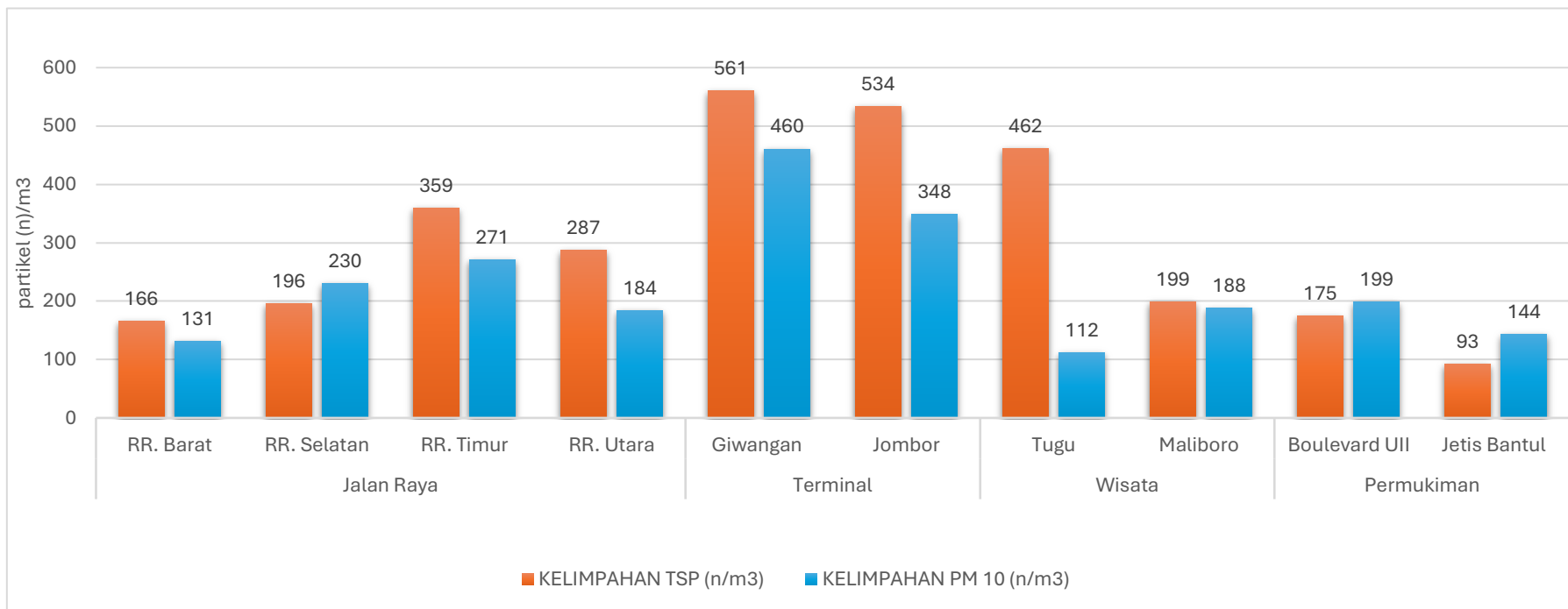
dari utara ke selatan (Portal berita pemerintah kota Yogyakarta, 25 September 2023).

Selama musim hujan, angin cenderung datang dari tenggara dan selatan, membawa udara lembab dari Samudra Hindia yang sering kali mengurangi kadar polusi partikulat di udara. Namun, variasi arah angin pada musim kemarau membuat penentuan polusi lebih sulit diprediksi, apalagi dengan adanya pegunungan yang berperan sebagai penghalang alami, menyebabkan distribusi polutan yang tidak merata di kota ini. Polusi udara di Yogyakarta sering kali menjadi lebih tinggi di daerah perkotaan karena terperangkap oleh gedung-gedung tinggi dan rendahnya kecepatan angin yang tidak mampu menyebarkan polutan dengan efisien. Semakin tinggi kecepatan angin pengenceran polutan udara semakin intensif (Prasasti, 2006).

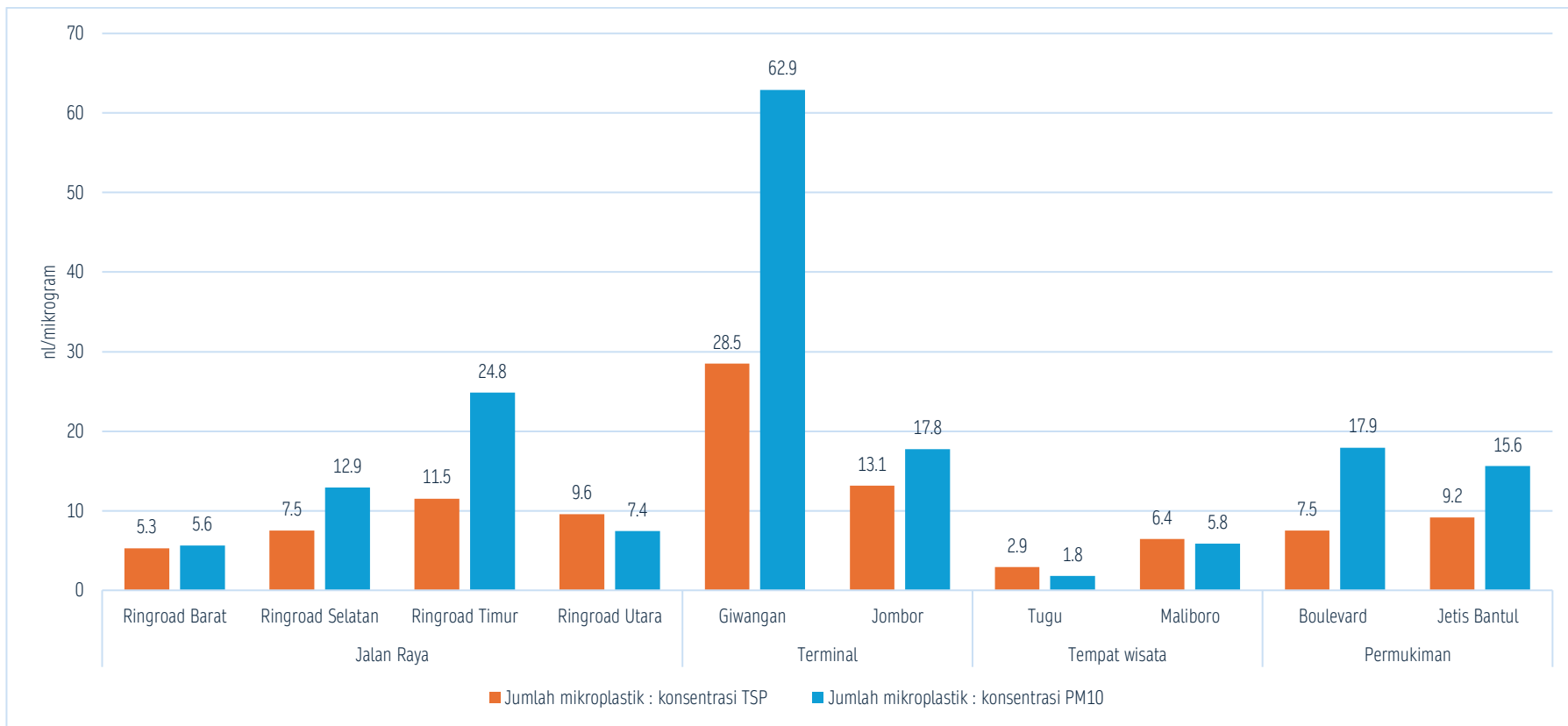
4.3 Analisis Mikroplastik

4.3.1 Kelimpahan mikroplastik

Kelimpahan mikroplastik pada TSP dan PM10 dapat dilihat pada Gambar 4.3.1.1 sedangkan perbandingan (rasio) mikroplastik terhadap berat TSP dan PM10 dapat dilihat pada Gambar 4.3.1.2



Gambar 4.3.1.1 Kelimpahan mikroplastik TSP dan PM10



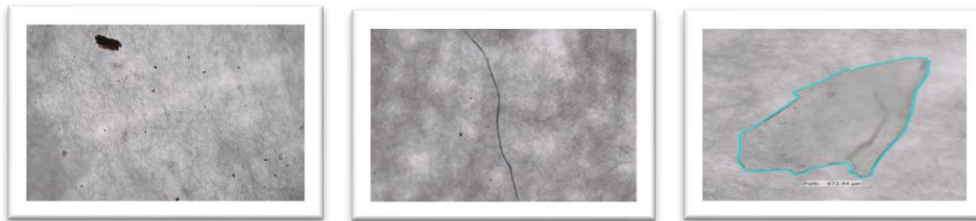
Gambar 4.3.1.2 Rasio jumlah mikroplastik dengan konsentrasi TSP dan PM10

Hasil penelitian penulis menunjukkan kelimpahan mikroplastik pada TSP dan PM10 tertinggi pada aktivitas transportasi yaitu terminal Giwangan (memiliki kelimpahan sebanyak 561 n/m³, dan kelimpahan mikroplastik di PM10 ; 460 n/m³. Sedangkan yang terkecil ada di kawasan permukiman. Hal ini dapat disebabkan oleh aktivitas transportasi serta aktivitas disekitar lokasi. Rasio mikroplastik terhadap berat TSP dan PM10 juga menunjukkan bahwa Giwangan memiliki rasio tertinggi yaitu pada TSP (28,5 partikel/ μ g) dan pada PM10 (62,9 partikel/ μ g). Hal ini menunjukkan bahwa sumber utama persebaran mikroplastik di udara di daerah Giwangan berasal dari kegiatan transportasi. Hasil penelitian (Sommer et al, 2018) menjelaskan bahwa pada saat berkendara ban akan mengalami gesekan pada permukaan jalan, akibat dari gesekan tersebut terjadi pelepasan material pada ban. Partikel tersebut akan mengendap di permukaan jalan dan dapat terbawa oleh angin maupun hujan. Namun demikian selain dari sumber transportasi, sumber lain seperti aktivitas pedagang di sekitar terminal terutama dengan penggunaan bahan bakar memasak akan menghasilkan emisi TSP dan PM10 dari pembakaran langsung (Prilia, 2016), keberadaan industri di sekitar terminal berpotensi menambah pencemaran udara di wilayah terminal melalui emisi partikel yang terbawa angin (Fauziah, 2016), kegiatan konstruksi atau renovasi bangunan di area terminal berkontribusi pada pencemaran TSP akibat debu konstruksi yang terbawa ke udara (Donowati et al, 2021) serta banyaknya pengguna terminal yang merokok termasuk petugas dan penumpang meningkatkan kadar PM10 di udara terutama di area-area kumpul (Veronika, 2014).

Bila dibandingkan dengan penelitian sebelumnya pada kota Shanghai mikroplastik di udara memiliki kelimpahan sebanyak 3,6 partikel/m³ dan dominan dengan jenis *fiber* dengan warna biru dan hitam (Liu et al.,2019). Kemudian di perkotaan pelabuhan Busheer mikroplastik di udara memiliki kelimpahan sebanyak 5,2 partikel/m³ dominan dengan jenis *fragmen* (Akhbarizadeh et al.,2021). Pada kota Hamburg. Jerman memiliki kelimpahan sebanyak 27, 5 partikel/m³ dengan jenis dominan *fragmen* (Klein and Fischer, 2019). Hasil penelitian ini menunjukkan bahwa nilai jenis mikroplastik di Yogyakarta dengan parameter TSP dan PM10 paling dominan adalah jenis *fragmen* sedangkan untuk *pellet* tidak ditemukan di seluruh lokasi

4.3.2 Jenis mikroplastik

Jenis mikroplastik yang ditemukan di dalam studi ini berdasarkan hasil analisis menggunakan mikroskop dengan perbesaran 4 x 0,1 adalah fragment, fiber, dan film di seperti yang ditunjukkan pada Gambar 4.3.2.1

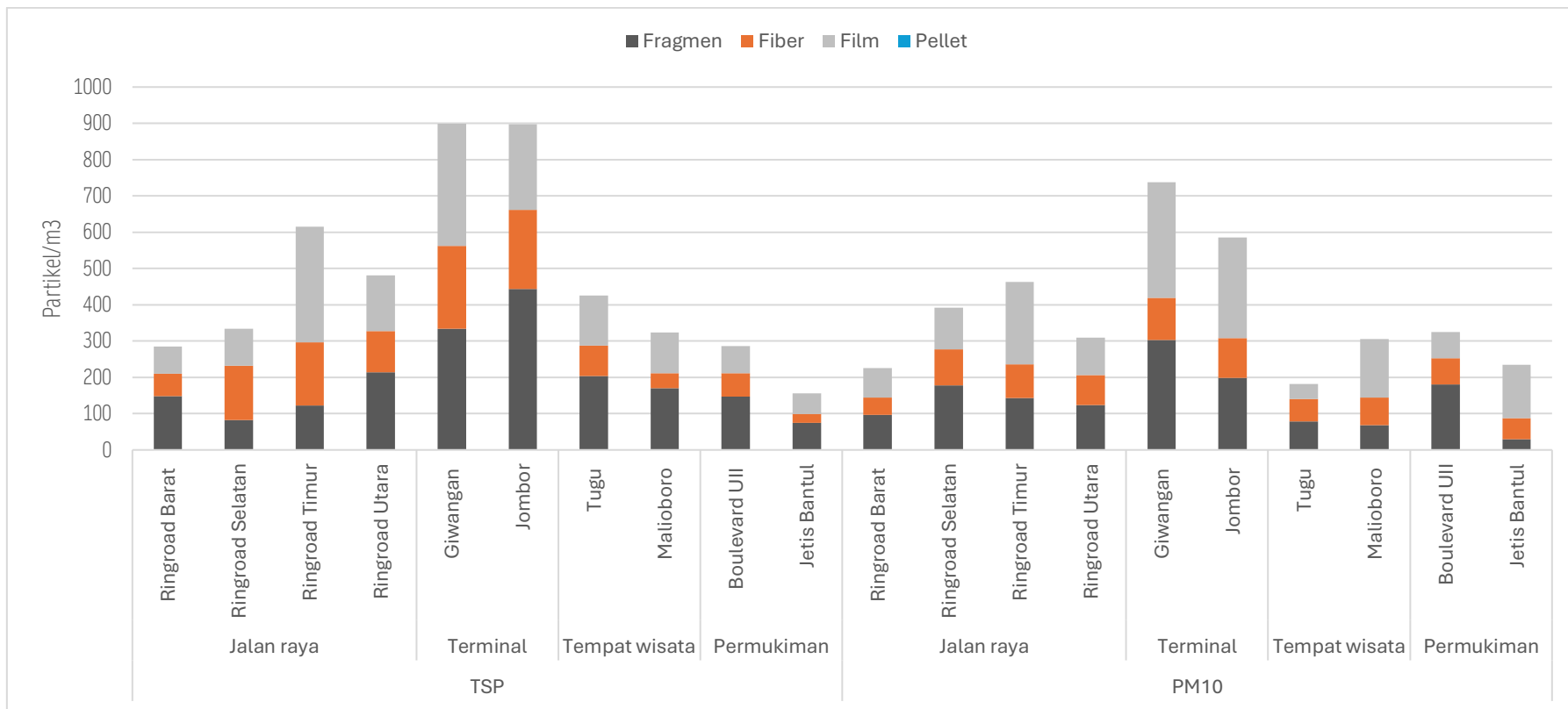


A. Fragmen ; B. Fiber ; C. Film

Gambar 4.3.2.1 Jenis mikroplastik

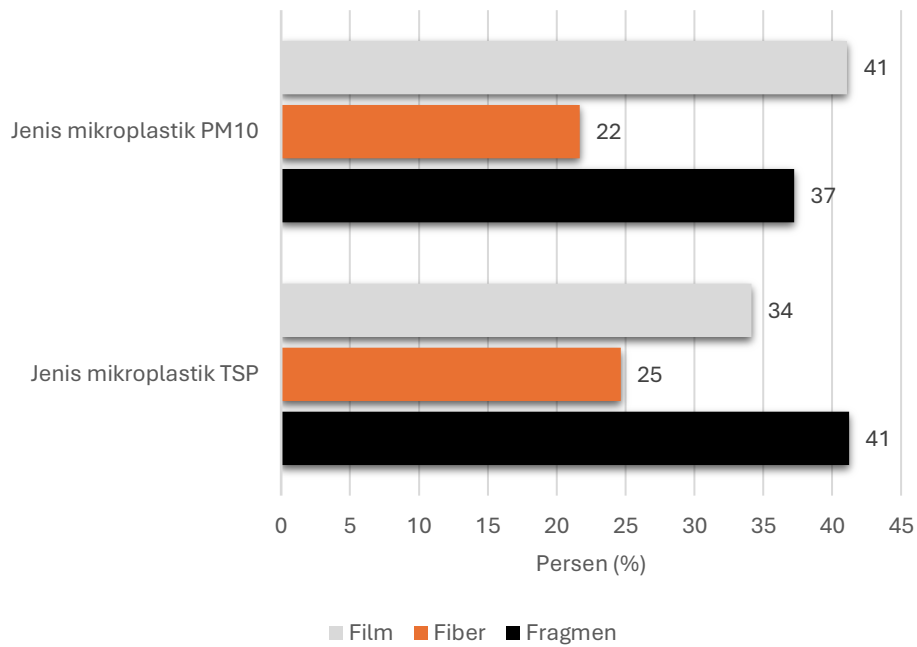
Fragmen merupakan mikroplastik yang umum ditemui dalam bentuk pecahan plastik dengan bentuk tepi yang tidak teratur. Sifatnya mampu menyerap ion logam dan bahan organik. Fragmen dapat berasal dari hasil gesekan antara ban dengan jalanan dan kulit karet kabel (Wang et al, 2018 ; Kim et al, 2018). *Fiber* merupakan mikroplastik yang memiliki bentuk tipis dan berukuran panjang seperti benang. Permukaan *fiber* kasar dan retak akibat proses oksidasi jangka panjang yang terjadi di lingkungan. Menurut (Kershaw, 2016) sumber utama mikroplastik jenis *fiber* berasal dari tekstil dan pakaian. *Film* berbentuk lembaran tipis yang memiliki warna lebih transparan dan memiliki densitas yang rendah sehingga mudah terbawa oleh angin (Kingfisher, 2011), mikroplastik jenis ini berasal dari kemasan plastik atau kantong plastik (Rahmadhani, 2019).

Jenis mikroplastik berupa fragmen, fiber, dan film yang ditemukan pada parameter TSP dan PM10 pada masing-masing lokasi dengan komposisi yang berbeda dapat dilihat pada Gambar 4.3.2.2



Gambar 4.3.2.2 Komposisi mikroplastik berdasarkan jenis pada parameter TSP dan PM10

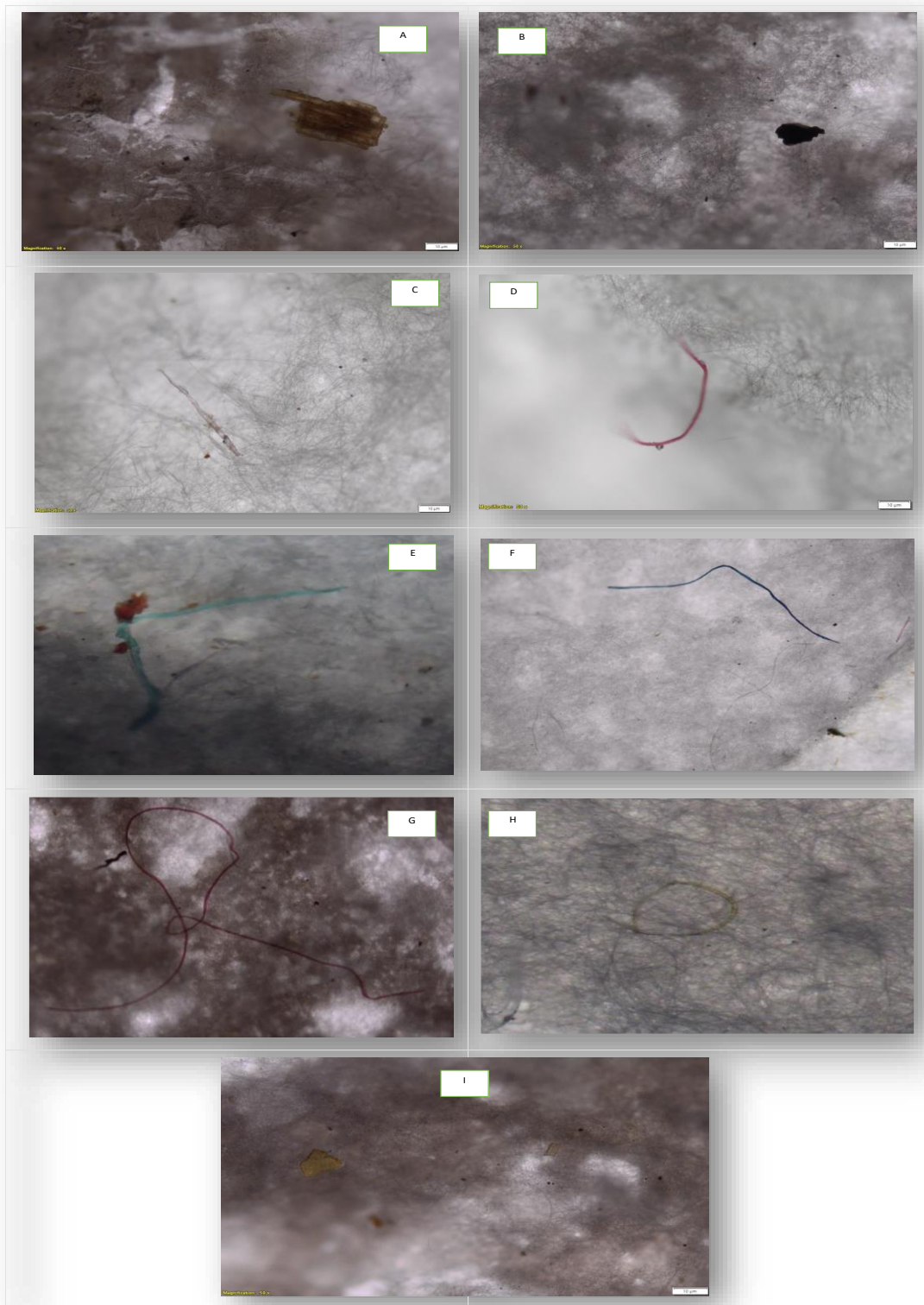
Berdasarkan Gambar 4.3.2.2 komposisi mikroplastik berdasarkan jenis menunjukkan bahwa jenis mikroplastik pada polutan TSP paling tinggi adalah jenis *fragmen* (444 partikel) dengan lokasi pada aktivitas transportasi yaitu terminal Jombor dan untuk PM10 jenis mikroplastik paling banyak adalah *Film* (319 partikel) dengan lokasi di terminal Giwangan. Prosentase jenis mikroplastik (Gambar 4.3.2.3) pada parameter TSP paling tinggi adalah *fragmen* (41%)>*film* (34%)>*fiber*(25%) untuk semua lokasi sampling, sedangkan jenis paling dominan untuk parameter PM10 adalah jenis film (41%)>fragmen (37%)> fiber (22%). Hasil prosentase jenis mikroplastik tersebut fragmen dan film mendominasi di kawasan wilayah studi Yogyakarta dengan hasil perbandingan prosentase yang mempunyai selisih sedikit dikarenakan mikroplastik jenis film dan fragmen dapat berasal dari keausan jalan dan abrasi ban (O'brien et al, 2023) dan dapat juga berasal dari penggunaan kemasan plastik pada aktivitas kegiatan manusia (Ayuningtyas, 2019). Banyaknya fragmen yang ditemukan terjadi karena kegiatan berkendara yang mengakibatkan abrasi jalan maupun ban. Sebagian besar partikel adalah komposit dari bahan abrasi ban, jalan dan rem. Kumpulan partikel ini berbeda dalam distribusi ukuran, komposisi dan struktur tergantung pada kecepatan berkendara, aliran lalu lintas dan armada kendaraan. Abrasi ban secara signifikan berkontribusi pada penyebaran mikroplastik ke lingkungan (Sommer et al, 2018). Perbedaan jenis mikroplastik di semua titik sampel tersebut juga dapat dipengaruhi oleh kondisi eksisting dan klimatologi pada saat pengambilan sampel. Perbedaan pada jumlah karakteristik setiap parameter juga dapat disebabkan oleh pemasangan letak alat dan ukuran polutan yang tertangkap pada filter (Dris et al, 2015; Cai et al, 2017). Hasil penelitian yang dilakukan oleh (Akhbarizadeh et al, 2021) pada daerah perkotaan pelabuhan Bushehr, Iran yang terletak di utara teluk Persia menunjukkan bahwa fragmen adalah bentuk mikroplastik yang paling banyak teridentifikasi dan Poliethylene Tereftalat (PET) adalah jenis plastik terbanyak dalam debu perkotaan di pelabuhan Bushehr. Pada penelitian ini untuk hasil prosentase jenis mikroplastik pada TSP dan PM10 dapat dilihat pada Gambar 4.3.2.3.



Gambar 4.3 Prosentase jenis mikroplastik parameter TSP dan PM10

4.3.3 *Warna mikroplastik*

Mikroplastik memiliki berbagai macam warna, Gambar 4.3.3 berikut adalah hasil analisis warna mikroplastik yang ditemukan pada penelitian ini dengan analisis secara visual menggunakan mikroskop yang ditemukan di lokasi pengambilan contoh.

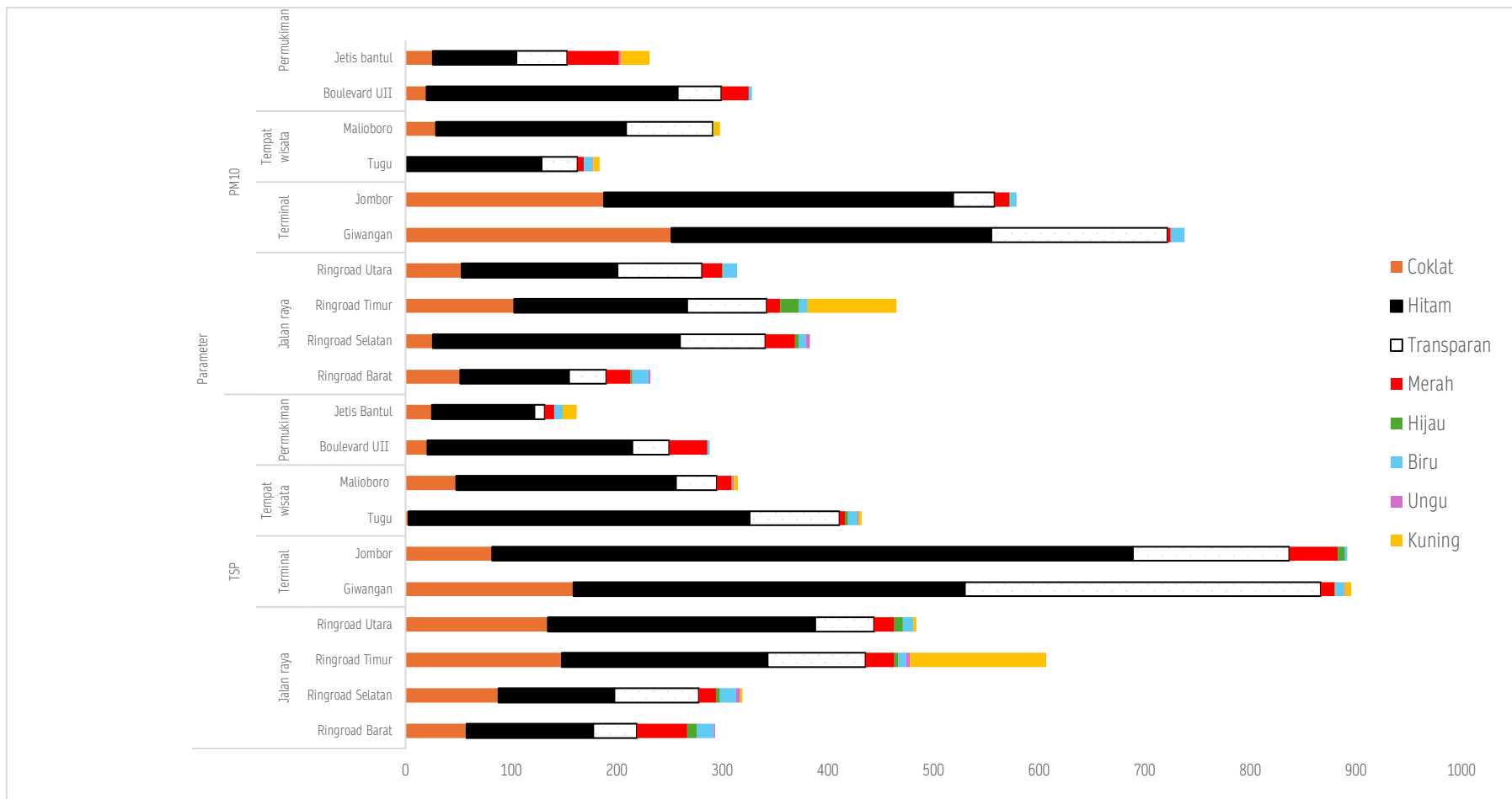


**A (coklat); B (hitam); C (transparan); D (merah); E (hijau); F (biru);G (ungu);
H (kuning); dan I (orange).**

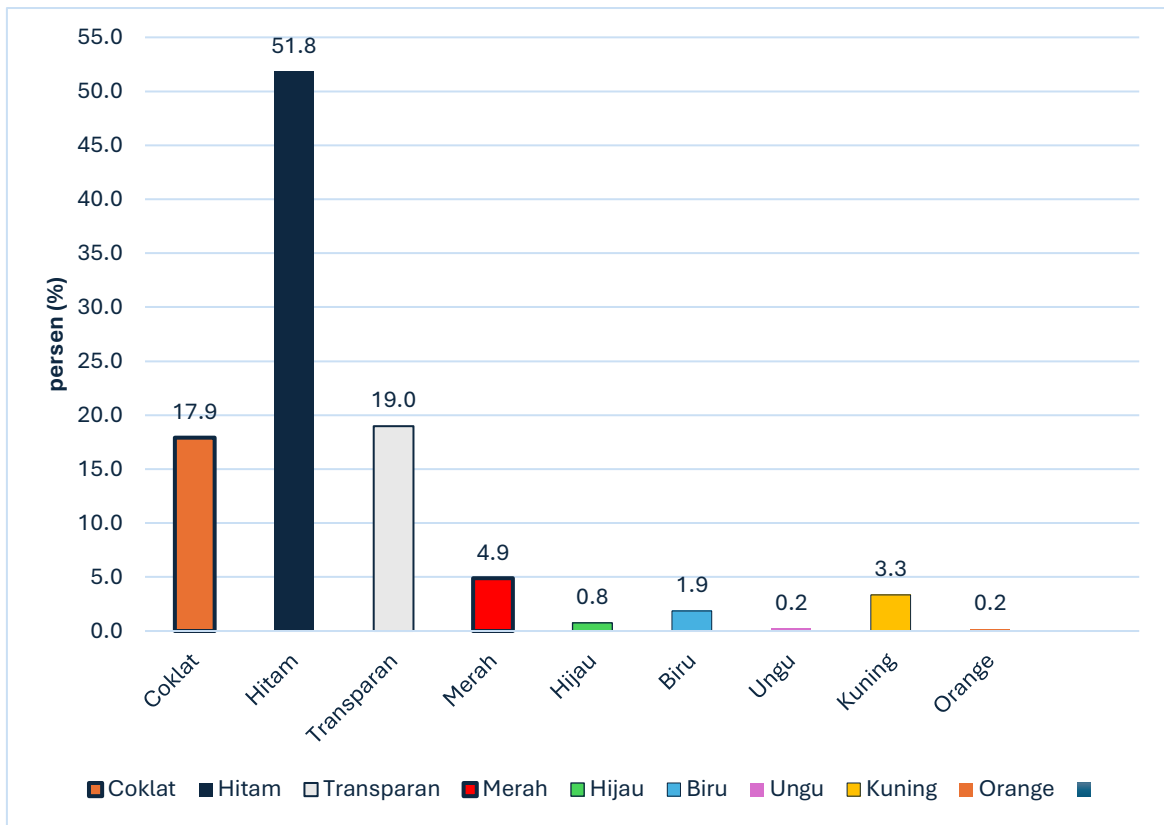
Gambar 4.4.1 Warna mikroplastik

Perbedaan warna pada mikroplastik dapat disebabkan oleh beberapa faktor, sinar *Ultra Violet (UV)* dalam proses degradasi maupun warna awal saat dalam bentuk makro dapat menyebabkan perubahan warna pada mikroplastik. Hal ini sesuai dengan pendapat (Hiwari et al, 2019) yang menyatakan bahwa perbedaan warna mikroplastik diindikasikan lamanya mikroplastik mengalami fotodegradasi oleh sinar UV dan dapat mempermudah identifikasi dari jenis plastik tertentu seperti mikroplastik berwarna transparan maka termasuk ke dalam jenis polimer *polypropylene (PP)*

Berdasarkan hasil analisis mikroplastik udara di wilayah Yogyakarta ditemukan 9 warna antara lain ; coklat, hitam, transparan, merah, hijau, biru, ungu, kuning dan orange seperti yang terlihat pada Gambar 4.3.3.1 dan Gambar 4.3.3.2 untuk komposisi warna mikroplastik pada lokasi studi dengan prosentase setiap warna dapat dilihat pada Gambar 4.3.3.3



Gambar 4.5.3.2 Komposisi warna mikroplastik pada lokasi studi



Gambar 4.3.3.3 Prosentase warna mikroplastik pada semua lokasi sampling

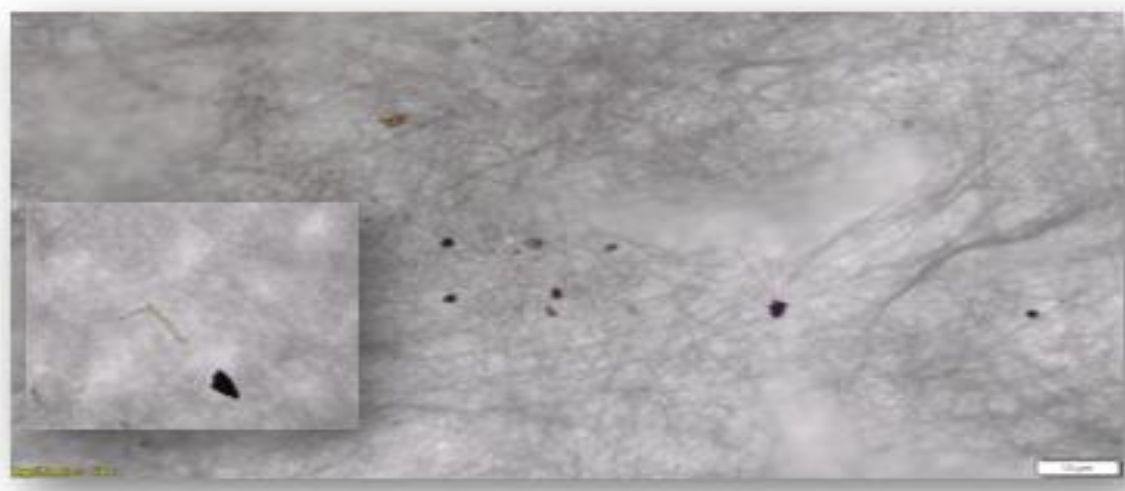
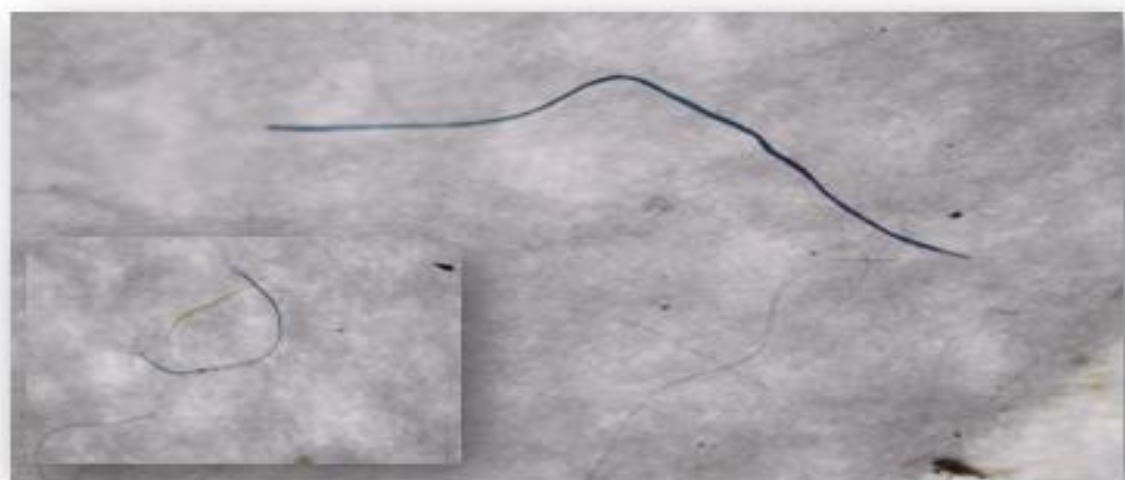
Berdasarkan gambar diatas dari 9 warna yang ditemukan pada penelitian ini, warna yang paling banyak ditemukan adalah warna hitam. Warna hitam yang diperoleh dari analisis mikroplastik ini berasal dari karet ban, kandungan bitumen pada jalana, kulit kabel dan sol sandal/sepatu (Pedersen *et al.*,2020). Dimana hasil prosentase yang diperoleh adalah warna hitam (52%), transparan (19%), coklat (18%), merah (5%), kuning (3%), biru (2%), hijau (0,8%), ungu (0,2%), orange (0,2%). Warna hitam pada mikroplastik dapat mengindikasikan banyaknya kontaminan yang terserap oleh mikroplastik dan partikel organik lain karena mikroplastik berwarna hitam mampu menyerap polutan yang tinggi (Hiwari *et al*, 2019). Selain warna hitam, ditemukan warna coklat yang jumlahnya cukup banyak mendominasi, warna coklat atau gelap ini menunjukkan plastik mengandung jenis polimer *polystiren* (PS) dan *polypropylene* (PP) (Ridlo, *et al.*,2020). Warna pada analisis mikroplastik berguna untuk mengidentifikasi potensi sumber sampah plastik serta potensi kontaminasi selama penyiapan sampel (Hartman *et al.*,2019; Rocha-Santos., 2017). Warna mikroplastik yang masih gelap menandakan bahwa partikel tersebut belum mengalami pelapukan. Kemudian banyaknya

variasi warna yang ditemukan menandakan bahwa partikel plastik tersebut telah lama terpapar oleh sinar matahari sehingga telah mengalami oksidasi (Browne., 2015). Dan pada metode penelitian ini menggunakan penambahan H_2O_2 , menurut (Allen *et al.*, 1998). Penambahan larutan H_2O_2 ini dapat menyebabkan peningkatan kontras visual pada mikroplastik.

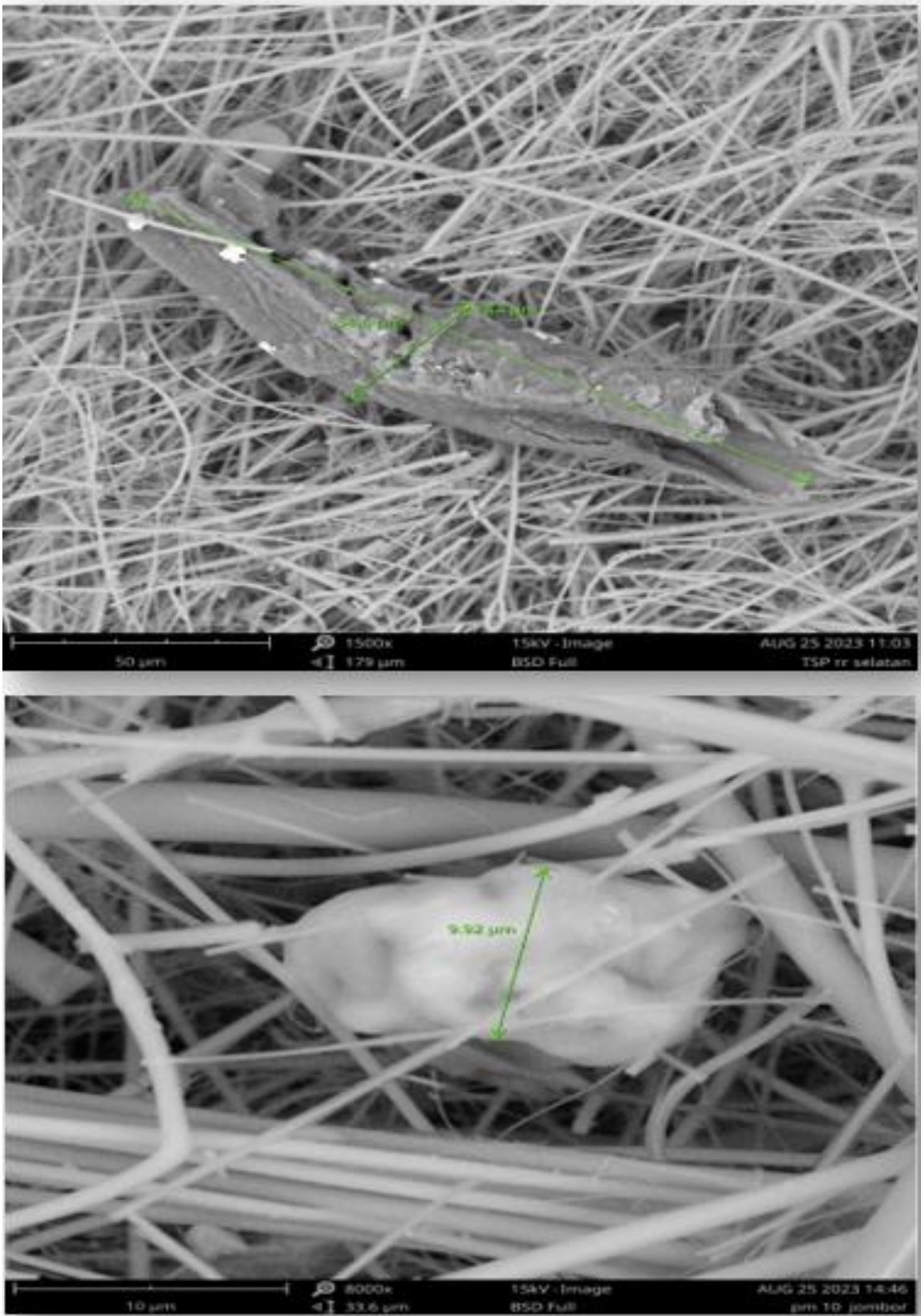
Pada penelitian yang dilakukan sebelumnya di kota Dongguan menunjukkan mikroplastik udara berwarna biru, merah, abu-abu dan transparan (Cai *et al.*, 2017), kemudian di kota Shanghai, mikroplastik di udara ditemukan berbagai warna termasuk partikel hitam, biru, merah, transparan, coklat, hijau, kuning dan abu-abu (Liu *et al.*, 2019). Dan penelitian yang dilakukan oleh (Akhbarizadeh *et al.*, 2021) pada daerah perkotaan pelabuhan Bushehr, Iran yang terletak di utara teluk Persia menemukan partikel mikroplastik udara berwarna hitam, transparan, merah, oranye dan abu-abu. Warna yang ditemukan pada setiap titik lokasi kemungkinan disebabkan oleh paparan sinar matahari atau sinar ultraviolet secara terus menerus, yang akan mempengaruhi perubahan partikel terdeteksi (Putri, 2017).

4.3.4 Ukuran mikroplastik

Pengelompokan ukuran mikroplastik belum ditetapkan secara pasti namun penelitian terdahulu membagi kategori mikroplastik menjadi 2 kategori yaitu, ukuran besar (1-5 mm) dan kecil (<1 mm) (Tankovic *et al.*, 2015). Alat yang di gunakan untuk identifikasi mikroplastik TSP dan PM10 secara visual menggunakan mikroskop dan SEM hasil analisis mikroplastik menggunakan mikroskop dapat dilihat pada Gambar 4.3.4.1. Sedangkan analisis mikroplastik menggunakan SEM untuk melihat ukuran mikroplastik dilakukan dengan pembesaran 1500-1800 kali, seperti yang terlihat pada Gambar 4.3.4.2



Gambar 4.6.1 Identifikasi mikroplastik TSP dan PM10 menggunakan mikroskop



Gambar 4.3.4.2 Identifikasi mikroplastik TSP dan PM10 menggunakan SEM

Pada Gambar 4.3.4.1 dan 4.3.4.2. didapatkan ukuran mikroplastik di lokasi

pengambilan contoh untuk parameter TSP adalah antara 10,5 µm sampai dengan 80,4 µm dan untuk PM10 antara 2,19 µm sampai dengan 9,92 µm sehingga rentang ukuran mikroplastik untuk parameter TSP dan PM10 yaitu berkisar 2,2 µm sampai dengan 30,4 µm. Berikut Tabel 4.3.4 prosentase ukuran mikroplastik di TSP dan PM10 yang teridentifikasi pada studi ini:

Tabel 4.3.4 Ukuran mikroplastik pada TSP dan PM10 dibandingkan penelitian lain

Studi ini			Penelitian lain	
Jenis partikel	Ukuran mikroplastik	Prosentase	Prosentase	Referensi
TSP	10 -50 mikron	30%	40-60%	Li et al, 2023, Sivalingam et al, 2024, Hung et al, 2021
	1-10 mikron	20%	20-30%	
PM10	1-5 mikron	20%	30-40%	Li et al, 2023, Sivalingam et al, 2024, Hung et al, 2021
	< 1 mikron	10%	10-20%	

Tabel 4.3.4 ini menunjukkan bahwa mikroplastik dalam TSP lebih beragam ukurannya dibandingkan dengan PM10, distribusi ukuran mikroplastik nilainya bervariasi tergantung dari faktor geografis, sumber polusi lokal, aktivitas manusia dan pengaruh lingkungan seperti angin dan curah hujan.

4.4 Perbandingan penelitian sebelumnya

Dibandingkan dengan penelitian sebelumnya di negara lain untuk wilayah studi di Yogyakarta pada penelitian ini didapatkan nilai kelimpahan mikroplastik untuk TSP adalah 92,74 partikel/m³ sampai dengan 560,8 partikel/m³ dengan ukuran partikel antara 2,2 µm sampai dengan 80 µm dengan prosentase perbandingan jenis mikroplastik di semua lokasi untuk parameter TSP adalah *fragmen* (41%), *film* (34%), dan *fiber* (25%) sedangkan untuk parameter PM10 adalah *film* (41%), *fragmen* (37%) dan *fiber* (22%). Hasil dari penelitian ini rentang maksimal untuk kelimpahan cukup tinggi dikarenakan beberapa titik pengambilan contoh kemungkinan merupakan sumber pencemar yang cukup tinggi yaitu jalan ringroad yang merupakan akses jalan raya utama dan terminal yang merupakan tempat berhenti dan transit bus dari dalam dan luar propinsi, untuk hasil perbandingan dengan penelitian sebelumnya dapat dilihat pada Tabel 4.4

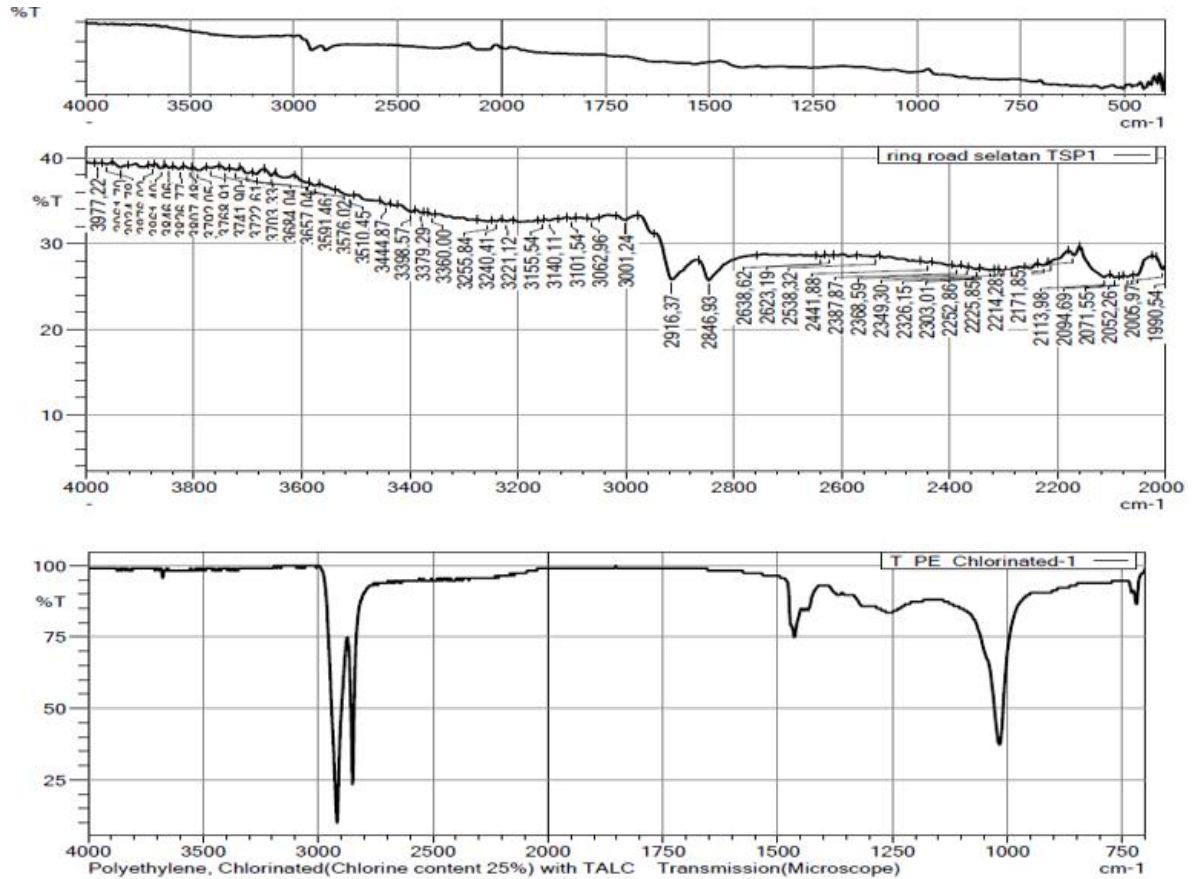
Tabel 4.4 Perbandingan penelitian sebelumnya

Author	Sampling Methode	Location	Concentration (n/m ³)	Size (µm)	Shapes
Azmi MAD, et al (2022)	TSP	Kuala Lumpur, Malaysia	16.39 to 96.81	70 to 1855	Unkown
Sarathana D, et al (2022)	TSP	Bangkok, Thailand	333.42±142.99	2.3 to 196.6	Fragment (97.22%), Fiber (2.78%)
Narmadha W, et al (2020)	PM10 and PM _{2.5}	Nagpur, India	62.75±179 to 116.25±26.4	>11	Fibers (70%), Fragment(15%), Film (7%), Granules
Akhbarizadeh et al (2021)	PM _{2.5}	Bushehr port, Iran	Zero to 14.2	>2.5(fragment an film), ~ 8 to 10000	Fragments (63%), Fiber (27%), Films (10%)
This Study (2023)	TSP and PM10	Yogyakarta, Indonesia	TSP : 92.74 to 560,8 PM10 : 111,7 to 460	2.2 to 80	TSP : Fragment (41%), Followed by Films (34%) and Fiber (25%) PM10 : Film (41%). Followe by Fragment (37%) and Fiber (22%)

4.5 Deteksi mikroplastik menggunakan FTIR

Pada penelitian yang dilakukan tahapan terakhir untuk analisa mikroplastik adalah melihat kandungan polymer menggunakan alat ATR-FTIR dimana alat tersebut digunakan untuk menganalisa senyawa kimia menggunakan radiasi sinar infra merah. Instrumen ini mampu mengidentifikasi senyawa kimia dan menganalisa gugus fungsional yang terdapat pada senyawa kimia. Hasil dari analisa menggunakan FTIR didapat senyawa PVC (Polyvinylchloride), PP (Polypropylene) dimana jika dilihat dari hasil warna coklat yang jumlahnya cukup banyak mendominasi, maka warna coklat atau gelap ini menunjukkan plastik mengandung jenis polimer *polystiren* (PS) dan *polypropylene* (PP) (Ridlo, *et al.*,2020) dan biasanya PP adalah bahan pembuat ban kendaraan jenis poliymer ini ditemukan di kawasan terminal. Ditemukan juga senyawa polymer jenis *Polyethylene* (PE) di beberapa lokasi pengambilan sampel salah satunya ada di kawasan terminal dan jalan raya dimana PE diperkirakan dari kantong plastik yang dibuang sembarangan dan terjadi degradasi atau pelapukan sehingga terbentuk menjadi mikroplastik.

Pada penelitian ini alat yang tersedia di laboratorium untuk analisis mikroplastik menggunakan FTIR metode ATR-FTIR merk Shimadzu Type QATR 10, contoh hasil analisis FTIR yang diperoleh dilihat pada Gambar 4.5



	Score	Library	Name	Comment
1	694	121 - T-Polymer2	T_PE_Chlorinated-1	Polyethylene, Chlorinated(Chlorine content 25%) with TALC Transmission(Microscope)
2	689	122 - T-Polymer2	T_PE_Chlorinated-2	Polyethylene, Chlorinated(Chlorine content 36%) with KAOLIN Transmission(Microscope)
3	682	126 - T-Polymer2	T_PE_PP	Ethylene/Propylene Copolymer(Ethylene content 60%) Transmission(Microscope)
4	679	30 - T-Organic2	Mg Stearate	Mg Stearate Transmission
5	676	124 - T-Polymer2	T_PE_Chlorinated-4	Polyethylene, Chlorinated(Chlorine content 48%) with TALC Transmission(Microscope)
6	675	123 - T-Polymer2	T_PE_Chlorinated-3	Polyethylene, Chlorinated(Chlorine content 42%) with TALC Transmission(Microscope)
7	673	101 - T-Polymer2	T_EVA-2	Ethylene/Vinyl Acetate(EVA) Copolymer(Vinyl Acetate content 18%) Transmission(Microscope)
8	671	23 - T-Polymer2	PE	Polyethylene(PE) Transmission(Microscope)
9	667	45 - ATR-Organic2	D_Algin	Algic Acid, Sodium Salt DuraSamplIR-II
10	666	100 - T-Polymer2	T_EVA-1	Ethylene/Vinyl Acetate(EVA) Copolymer(Vinyl Acetate content 14%) Transmission(Microscope)
11	666	107 - ATR-Polymer2	D_HDPE	High Density Polyethylene(HDPE) DuraSamplIR-II

Gambar 4.5 Contoh hasil uji FTIR

Hasil analisis menggunakan FTIR di seluruh lokasi pengambilan sampel dapat dilihat pada Tabel 4.5.

Tabel 4.5 Hasil analisis FTIR

No		Lokasi	TSP	PM10
1	Jalan raya	RR. Barat	Fiber (cotton, ramie)	Fiber (Tencel, cotton)
2		RR. Selatan	PE,PVC	Fiber (Cotton), PE
3		RR. Timur	PVC, PP	PE
4		RR. Utara	PVC	PVC
5	Terminal bus	Giwangan	PE, HDPE	PE, HDPE
6		Jombor	Fiber (cotton), PP	PE
7	Tempat wisata	Tugu	PET, fiber (cotton)	Fiber (Tencel), Rayon
8		Maliboro	PET, fiber (cotton)	Fiber (Tencel)
9	Permukiman	Boulevard UII	Fiber (Tencel, cotton), PVC	Fiber (Tencel, cotton)
10		Jetis Bantul	Fiber (cotton) PET	Fiber (cotton, Tencel), Ramie

Menurut (Zhao et al, 2018) Polypropylene (PP) merupakan mikroplastik jenis fiber. Penggunaan PP semakin banyak digunakan dalam industri tekstil untuk memproduksi pakaian, kain bukan tenun dan karpet (Park et., al 2004). Bentuk fragmen adalah mikroplastik jenis HDPE, PVC (Zhao et al, 2018) dan (Jung et al, 2018) hal tersebut karena jenis plastik tersebut memiliki tekstur yang keras dan massa jenis yang besar. HDPE dan PVC sering ditemukan sebagai tutup botol, wadah sampo dan pipa peralon. Bentuk film adalah mikroplastik jenis latex, LDPE dan PS. Pencemaran mikroplastik jenis film dapat bersumber dari potongan kantong kresek, pembungkus makanan dan berbagai macam plastic tipis lainnya (Jung et al, 2018). Mikroplastik film biasanya mengapung pada kolam air karena memiliki masa jenis yang rendah, seperti Latex, Polystyrene dan LDPE. Kantong kresek berasal dari jenis LDPE dan plastik pembungkus makanan berasal dari jenis PS. Menurut (Cordova et al, 2018) Polystyrene banyak digunakan sebagai wadah makanan atau minuman. Tencel, yang terbuat dari serat selulosa, dapat berkontribusi pada pencemaran udara melalui pelepasan partikel kecil saat dicuci dan digunakan. Meskipun dianggap lebih ramah lingkungan dibandingkan serat sintetis, proses produksi dan pembuangannya masih dapat menghasilkan mikroplastik, meskipun dalam bentuk yang berbeda. Penelitian menunjukkan bahwa mikroplastik dari tekstil dapat berdampak pada kesehatan manusia dan lingkungan (*Center for International Environmental Law, 2023*).

4.6 Analisis hubungan mikroplastik dengan konsentrasi TSP dan PM10

Analisis hubungan kelimpahan mikroplastik dengan konsentrasi TSP dan PM10 dilakukan dengan menggunakan analisis korelasi spearman. Koefisien korelasi dapat dilihat pada Tabel 4.6.

Tabel 4.6 Korelasi kelimpahan mikroplastik TSP, PM10 dengan konsentrasi TSP, PM10

Korelasi Spearman	r_s	p (2-tailed)	Kesimpulan
Mikroplastik di TSP dengan konsentrasi TSP	0.35758	0.31038	tidak signifikan secara statistik.
Mikroplastik di PM10 dengan konsentrasi PM10	-0.56364	0.08972	tidak signifikan secara statistik.
Mikroplastik di TSP dengan MPs di PM10	0.53939	0.10759	tidak signifikan secara statistik.

Dari Tabel 4.6 hubungan mikroplastik pada TSP dan konsentrasi TSP memiliki hubungan positif lemah ($r=0,36$), sedangkan hubungan antara MPs di PM10 dengan konsentrasi PM10 memiliki hubungan negative cukup ($r=-0,56$) berkebalikan dengan hubungan MPs di TSP dengan MPs di PM10 yaitu positif cukup ($r=0,54$). Walaupun demikian semua analisis korelasi menunjukkan tidak signifikan secara statistic artinya korelasi ini hanya terbatas pada studi ini.

Hubungan antara kelimpahan mikroplastik dan konsentrasi TSP sering kali tidak menunjukkan korelasi yang signifikan. Beberapa penelitian menunjukkan bahwa kondisi lingkungan dan sumber polusi yang berbeda dapat mempengaruhi hubungan ini. Hal ini mungkin disebabkan oleh variasi dalam jenis dan sumber mikroplastik yang terakumulasi di berbagai lokasi, serta perbedaan dalam proses pengendapan dan distribusi partikel di udara. Penelitian lain di Bandar Lampung juga mengindikasikan bahwa kelimpahan mikroplastik tidak selalu berkorelasi positif dengan TSP, dengan variasi yang terlihat tergantung pada jenis dan aktivitas sumber polusi yang ada di sekitar (Kartika sari et al, 2024). Sebuah studi di Bangkok menunjukkan bahwa hubungan antara mikroplastik dan TSP sangat bergantung pada lokasi dan sumber mikroplastik di sekitarnya. Di lokasi tertentu, ditemukan bahwa meskipun TSP tinggi, konsentrasi mikroplastik tetap rendah, mungkin disebabkan oleh karakteristik polusi yang berbeda di area tersebut (Sarathana et al, 2023).

BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

1. Hasil perhitungan konsentrasi partikel TSP dari semua lokasi pengambilan contoh didapatkan bahwa tidak ada nilai yang melebihi baku mutu PP Nomor 23 Tahun 2021 Tentang Penyelenggaraan Perlindungan dan Pengelolaan Lingkungan Hidup yaitu dengan nilai standar baku $230 \mu\text{g}/\text{m}^3$, nilai tertinggi untuk TSP ada di lokasi Tugu dengan konsentrasi $146,7 \mu\text{g}/\text{m}^3$, sedangkan nilai terendahnya ada di lokasi Jetis Bantul dengan nilai $17,0 \mu\text{g}/\text{m}^3$ dari nilai baku mutu. Namun untuk parameter PM10 ada 1 lokasi yang melebihi baku mutu dengan nilai konsentrasi $100,3 \mu\text{g}/\text{m}^3$ terdapat di lokasi Tugu yang dimungkinkan karena lokasi tersebut berada di area yang berdekatan dengan jalan dan pusat kegiatan seperti pasar, sekolah, hotel sehingga sumber pencemar lebih beragam. Sedangkan nilai terendahnya ada di lokasi terminal Giwangan dengan nilai konsentrasi $11,7 \mu\text{g}/\text{m}^3$ jika dibandingkan dengan baku mutu PM10 yaitu $75 \mu\text{g}/\text{m}^3$.
2. Konsentrasi debu TSP dan PM10 dapat disimpulkan bahwa dari 10 lokasi pengambilan sampel hanya 1 lokasi yang melebihi nilai baku mutu untuk parameter PM10. Hubungan antara konsentrasi TSP dan PM10 sangat tergantung pada lokasi dan sumber polutan yang berada di dekatnya selain itu faktor meteorologi juga akan berpengaruh dengan konsentrasi polutan yang tersebar.
3. Dalam penelitian ini mikroplastik yang didapatkan dalam TSP dan PM10 berdasarkan jenis teridentifikasi menjadi 3 jenis yaitu *fragmen*, *fiber* dan *film* sedangkan identifikasi mikroplastik berdasarkan warna diperoleh menjadi 9 warna yaitu hitam, transparan, coklat, merah, hijau, ungu, biru, orange, kuning. Jika diurutkan berdasarkan jenis dan warna mikroplastik yang didapat adalah *fragmen hitam*>*film coklat*>*fiber transparan* perbedaan jenis dan warna ini tergantung dari durasi fragmentasi mikroplastik
4. Kelimpahan mikroplastik untuk parameter TSP dan PM10 paling besar di lokasi terminal Giwangan yaitu parameter TSP ($561 \text{ partikel}/\text{m}^3$) dan ($460 \text{ partikel}/\text{m}^3$) untuk parameter PM10, sedangkan untuk prosentase mikroplastik dalam parameter TSP di semua lokasi adalah 56% (4702 partikel) dan PM10 sebesar 43,4% (3608

partikel). Rentang kisaran kelimpahan mikroplastik di semua lokasi adalah TSP (92,74 – 560,8 partikel/m³), sedangkan PM10 berkisar antara (111,77 – 460 partikel/m³).

5. Jenis polymer mikroplastik yang didapat di semua lokasi pengambilan sampel adalah PVC (Polyvinylchloride), PE (Polyethylene), HDPE (High Density Polyethylene), PP (Polypropilene) dalam bentuk fragmen yang paling dominan, dimungkinkan kandungan senyawa polymer yang didapat dari abrasi ban dan jalan serta sampah plastik yang dibuang sembarang yang dapat berupa kantong plastik dan kemasan/botol minuman yang sudah mengalami pelapukan atau terdegradasi dalam waktu yang lama.

5.2 Saran

1. Pengendalian Polusi dari Transportasi dan Industri; Mengingat aktivitas transportasi dan industri sebagai sumber utama mikroplastik di udara, diperlukan regulasi yang lebih ketat untuk mengurangi pelepasan mikroplastik. Ini bisa termasuk pengembangan material ban yang lebih ramah lingkungan dan peningkatan kesadaran industri mengenai polusi mikroplastik.
2. Peningkatan Infrastruktur Pemantauan; Disarankan untuk menambah titik-titik pemantauan mikroplastik di berbagai lokasi dengan karakteristik yang berbeda, untuk memahami sebaran mikroplastik secara lebih komprehensif. Peningkatan frekuensi pemantauan juga penting agar data yang didapat lebih representatif.
3. Penelitian Lebih Lanjut; Perlu dilakukan penelitian lanjutan yang mencakup pengaruh mikroplastik terhadap kesehatan masyarakat, terutama di area dengan konsentrasi tinggi. Penelitian mengenai interaksi mikroplastik dengan parameter lingkungan lainnya, seperti angin dan curah hujan, juga diperlukan untuk memahami mekanisme distribusi mikroplastik di udara secara lebih mendalam.
4. Edukasi dan Kampanye Kesadaran Publik; Peningkatan kesadaran masyarakat tentang dampak mikroplastik terhadap kesehatan dan lingkungan perlu dilakukan, misalnya melalui kampanye publik. Edukasi ini dapat mendorong partisipasi masyarakat dalam mengurangi penggunaan plastik sekali pakai dan meningkatkan manajemen sampah rumah tangga.

Rekomendasi di atas diharapkan dapat mendukung upaya pengurangan dan pengelolaan polusi mikroplastik secara lebih efektif di masa mendatang.

DAFTAR PUSTAKA

- Abbasi, S. *et al.* (2019) 'Distribution and potential health impacts of microplastics and microrubbers in air and street dusts from Asaluyeh County, Iran', *Environmental Pollution*, 244, pp. 153–164. Available at: <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2018.10.039>.
- Akhbarizadeh, R. *et al.* (2021) 'Suspended fine particulate matter (PM_{2.5}), microplastics (MPs), and polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs) in air: Their possible relationships and health implications', *Environmental Research*, 192, p. 110339. Available at: <https://doi.org/10.1016/j.envres.2020.110339>.
- Akhbarizadeh *et al.*, 2021; How Microplastics in the Air Are Polluting the Most Remote Places on Earth, 2022; MICROPLASTIC CONTAMINATION IN GREEN MUSSEL AQUACULTURE AT STRAITS OF JOHOR RAIHANA ROZAN BINTI MAHA, n.d.; SNI PM 10, n.d.; Ibrahim *et al.*, 2023; Nasional, 2017; Octarianita *et al.*, 2022; Sutanahaji *et al.*, 2021; Syafei *et al.*, 2019a, 2019b
- Alam, F.C. and Rachmawati, M. (2020) 'Development of Microplastic Research in Indonesia', *Jurnal Presipitasi : Media Komunikasi dan Pengembangan Teknik Lingkungan*, 17(3), pp. 344–352. Available at: <https://doi.org/10.14710/presipitasi.v17i3.344-352>.
- Ambraini, Fahreza & Swasto, Deva & Rahmi, Dwita. (2020). Pengaruh perkembangan kampus terpadu UII terhadap permukiman di sekitarnya. *Region : Jurnal Pembangunan Wilayah dan Perencanaan Partisipatif*. 15. 81. 10.20961/region.v15i1.27002.
- Anwar Hadi. (2018). *Statistika Pengendalian Mutu Internal Mendukung Penerapan ISO/IEC 17025 : 2017*. IPB Press
- Asmaliati (2007) '(Studi Kasus Ruas Jalan H. Affandi, Yogyakarta)', 2007 [Preprint], (EVALUASI KINERJA RUAS JAILffi DERAJAT KEJENUHAN, TINGKAT PELAYANAN DAN TINGKAT PENCEMARAN UDARA (Studi Kasus Ruas Jalan H. Affandi, Yogyakarta)).
- Ayuningtyas, W.C. (2019) 'KELIMPAHAN MIKROPLASTIK PADA PERAIRAN DI BANYUURIP, GRESIK, JAWA TIMUR', *JFMR-Journal of Fisheries and Marine Research*, 3(1), pp. 41–45. Available at: <https://doi.org/10.21776/ub.jfmr.2019.003.01.5>.
- Basuki, A.T. (2012) 'PEMETAAN POLUSI UDARA PERKOTAAN DI PROPINSI DAERAH ISTIMEWA YOGYAKARTA'.
- Cai, L. *et al.* (2017) 'Characteristic of microplastics in the atmospheric fallout from Dongguan city, China: preliminary research and first evidence', *Environmental Science and Pollution Research*, 24(32), pp. 24928–24935. Available at: <https://doi.org/10.1007/s11356-017-0116-x>.
- Cordova, M.R., Hadi, T.A & Prayudha, B. 2018. Occurrence and abundance of microplastics incoral reef sediment: a case study in Sekotong, Lombok-Indonesia. *AES Bioflux*. 10(1):23-19. doi: 10.5281/zenodo.1297719
- Dewi, A.L. (2020) 'Jurnal Matematika dan Statistika serta Aplikasinya Vol. 8 No. 2 Ed. Juli - Des. 2020', 8(2).
- Dewi, F.N. (2020) 'Distribusi Konsentrasi Pb, Cu, Zn Pada Tanaman Ketapang (Terminalia Catappa) Sebagai Bioindikator Pencemaran Udara Di Universitas Islam Indonesia'. 48

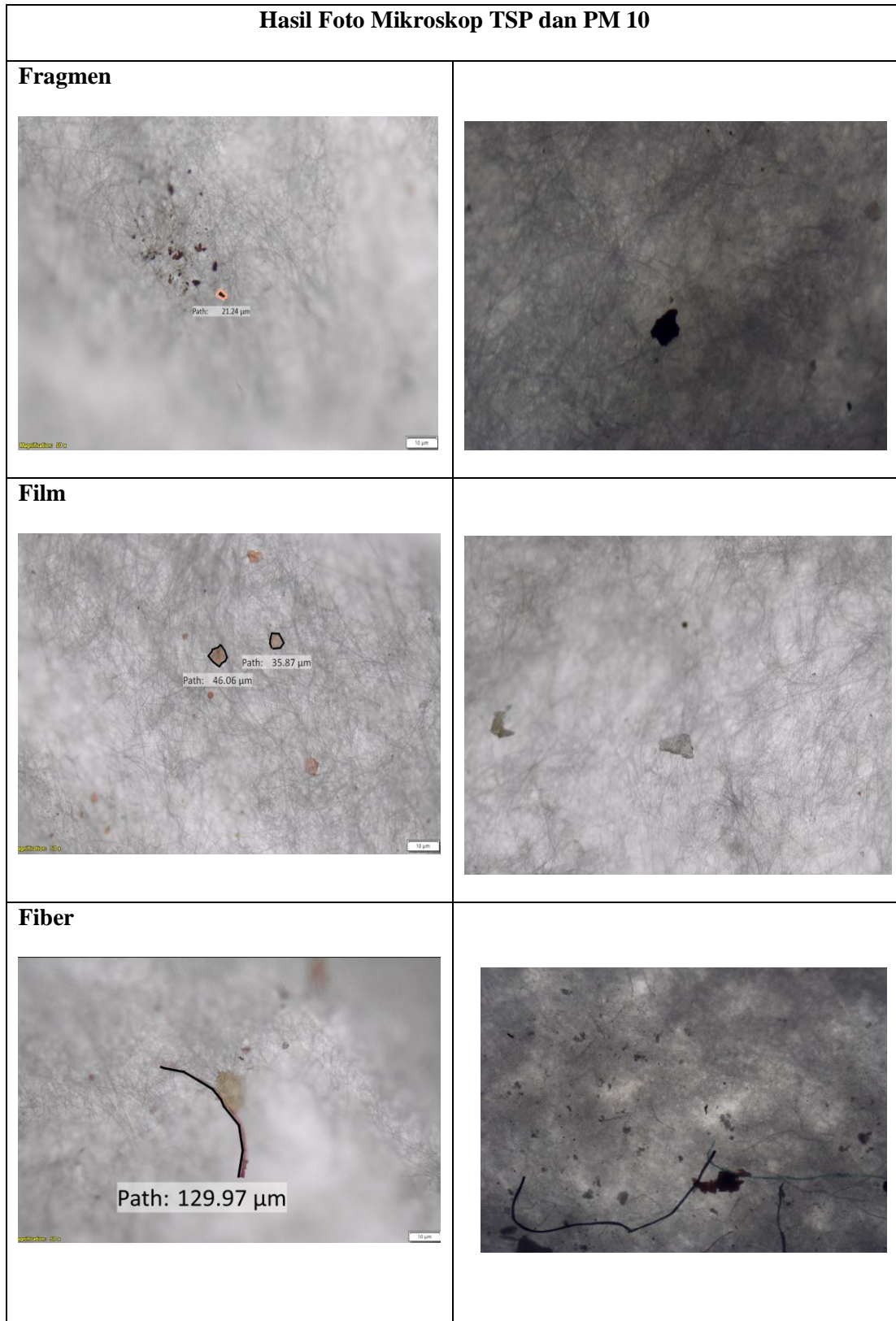
- Dominick, D., et al. (2012). "Air quality and sources of particulate matter pollution in Malaysia." *Journal of Environmental Research and Public Health*
- Ebere, E.C. et al. (2019) 'Macrodebris and microplastics pollution in Nigeria: first report on abundance, distribution and composition', *Environmental Analysis Health and Toxicology*, 34(4), p. e2019012. Available at: <https://doi.org/10.5620/eaht.e2019012>
- FAO, (2021) 'Plastik dalam pertanian dan pangan : baik, buruk dan jelek' available at : <https://www.fao.org/newsroom/detail/plastics-in-agrifood-systems-the-good-the-bad-and-the-ugly/en>
- Fathulloh, M.Z., Minanurrohman, M.R. and Mahmudah, R. (2021) 'Identifikasi Mikroplastik di Udara: Upaya Penanggulangan False Solution Plastic Management', <https://ecotonjournal.id/index.php/epj>, 1 Nomor 3(Environmental Pollution Journal), pp. 208–216.
- Finn, D., Clawson, K.L., Carter, R.G., Rich, J.D., Bilstoft, C., dan Leach, M., 2010. Analysis of Urban Atmosphere Plume Concentration Fluctuation. *Boundary Layer Meteorol*, 136:431-456
- Fiyanda, A.D.T. (2022) 'IDENTIFIKASI MIKROPLASTIK UDARA DALAM RUANGAN SEKOLAH DI JALAN ARTERI KOTA MAKASSAR', [http://repository.unhas.ac.id/\[Preprint\]](http://repository.unhas.ac.id/[Preprint]). Available at : <http://repository.unhas.ac.id/id/eprint/23811/2/D131181015> skripsi_27-09-2022%201-2.pdf.
- Gasperi, J. et al. (2018) 'Microplastics in air: Are we breathing it in?', *Current Opinion in Environmental Science & Health*, 1, pp. 1–5. Available at: <https://doi.org/10.1016/j.coesh.2017.10.002>.
- Grigoratos, T. and Martini, G. (2015) 'Brake wear particle emissions: a review', *Environmental Science and Pollution Research*, 22(4), pp. 2491–2504. Available at: <https://doi.org/10.1007/s11356-014-3696-8>.
- Gusnita, D. and Cholianawati, N. (2019) 'Pollutant Concentration and Trajectory Patterns of PM2.5 including Meteo Factors in Jakarta City', *JKPK (Jurnal Kimia dan Pendidikan Kimia)*, 4(3), p. 152. Available at: <https://doi.org/10.20961/jkpk.v4i3.35028>.
- Hidalgo-Ruz, V. et al. (2012) 'Microplastics in the Marine Environment: A Review of the Methods Used for Identification and Quantification', *Environmental Science & Technology*, 46(6), pp. 3060–3075. Available at: <https://doi.org/10.1021/es2031505>.
- Hiwari, H., Purba, N. P., Ihsan, Y. N., Yuliadi, L. P., & Mulyani, P. G. (2019). Kondisi sampah mikroplastik di permukaan air laut sekitar Kupang dan Rote, Provinsi Nusa Tenggara Timur. *Pros sem nas masy biodiv indon*, 5(2), 165-171.
- Ismiyati, Marlita, D., & Saidah, D, J. Manajemen Transportasi & Logistik (JMTTransLog), 01, 241-247 (2014)
- Jinfeng Ding, Chengjun Sun et al. (2022) ' Atmospheric microplastics in the Northwetern Pacific Ocean : Distribution, souch, and deposition. Avilable at : <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0048969722014309>
- Jung M.R. 2018. Validation of ATR FT-IR to Identify Polymers of Plastic Marine Debris, Including Those Ingested by Marine Organisms. *Marine Pollution Bulletin.*, 127:704-716. doi: 10.13057/psnmbi/m050204

- Khotimah, H., Anggraeni, E.W. and Setianingsih, A. (2018) 'Karakterisasi Hasil Pengolahan Air Menggunakan Alat Destilasi', *Jurnal Chemurgy*, 1(2), p. 34. Available at: <https://doi.org/10.30872/cmgy.v1i2.1143>. 49.
- Kushani Perera, Shima Ziajahromi., Susan Bengtson Nash, Frederic D.L. Leusch. 2024, Evaluating the retention of airborne microplastics on plant leaf: Influence of leaf morphology, *Environmental Pollution*, Volume 346.
- Liu, K. *et al.* (2019) 'Source and potential risk assessment of suspended atmospheric microplastics in Shanghai', *Science of The Total Environment*, 675, pp. 462–471. Available at: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2019.04.110>.
- Manurung, H.E.F. and Saptini, Y. (2021) 'PENENTUAN SUHU, WAKTU, DAN KECEPATAN PUTARAN YANG OPTIMAL PADA PROSES SENTRIFUGASI PENGUJIAN KADAR GEL BERDASARKAN SNI 8385:2017', *Pertemuan dan Presentasi Ilmiah Standardisasi*, 2020, pp. 141–146. Available at: <https://doi.org/10.31153/ppis.2020.75>.
- Mico, C., *et al.* (2015). Monitoring airborne particulate matter in urban environments with SEM/EDS analysis. *Environmental Science and Technology*.
- Moestikahandi Soedomo, 2001, Pencemaran Udara, Bandung: Institut Teknologi Bandung
- Novi Kartika Sari, Nurul Mawaddah, Muhammad Daffa Shiddiq, Firdha Cahya Alam, and 1 more (2024) Atmospheric Microplastic Particulate in Urban Roadside: Case of Bandar Lampung City, Indonesia
- O'Brien, S. *et al.* (2023) 'There's something in the air: A review of sources, prevalence and behaviour of microplastics in the atmosphere', *Science of The Total Environment*, 874, p. 162193. Available at: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2023.162193>.
- Pedersen, A.F. *et al.* (2020) 'Nanoplastics impact the zebrafish (*Danio rerio*) transcriptome: Associated developmental and neurobehavioral consequences', *Environmental Pollution*, 266, p. 115090. Available at: <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2020.115090>.
- Rossihan Anwar, *rr.co.id* dikutip dari <https://rri.co.id/di-yogyakarta/wisata/581197/peningkatan-pesat-pengunjung-teras-malioboro-tembus-3-juta-pengunjung>
- SNI 19-7119.6-2005 Tentang Penentuan Lokasi Pengambilan Uji Pemantauan Kualitas Udara Ambien
- SNI 7119.15:2016 Tentang Cara Uji Partikel dengan Ukuran $\leq 10 \mu\text{m}$ (PM10) Menggunakan Peralatan High Volume Air Sampler (HVAS) dengan Metode Gravimetri, (2016).
- SNI 7119-3:2017 Tentang Cara Uji Partikel Tersuspensi Total menggunakan High Volume Air Sampler (HVAS) dengan Metode Gravimetri, (2017).
- Sommer, F. *et al.* (2018) 'Tire Abrasion as a Major Source of Microplastics in the Environment', *Aerosol and Air Quality Research*, 18(8), pp. 2014–2028. Available at: <https://doi.org/10.4209/aaqr.2018.03.0099>.
- Srimuruganandam, B. and Shiva Nagendra, S.M. (2012) 'Source characterization of PM10 and PM2.5 mass using a chemical mass balance model at urban 50 roadside', *Science of The Total Environment*, 433, pp. 8–19. Available at: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2012.05.082>.

- Sugiarti (2009) 'GAS PENCEMAR UDARA DAN PENGARUHNYA BAGI KESEHATAN MANUSIA', 10, pp. 50–58.
- Sarathana, D.; Winijkul, E. Concentrations of Airborne Microplastics during the Dry Season at Five Locations in Bangkok Metropolitan Region, Thailand. *Atmosphere* **2023**, *14*, 28. <https://doi.org/10.3390/atmos14010028>
- Tagg, A.S. *et al.* (2015) 'Identification and Quantification of Microplastics in Wastewater Using Focal Plane Array-Based Reflectance Micro-FT-IR Imaging', *Analytical Chemistry*, 87(12), pp. 6032–6040. Available at: <https://doi.org/10.1021/acs.analchem.5b00495>.
- The Pew Charitable Trusts. Menghentikan Gelombang Plastik. <https://www.pewtrusts.org//media/assets/2020/07/bahasabtpwsingleshigh.pdf%20ban%20motor>. Diakses tanggal 15 Mei 2022.
- Thompson, R. C., Olson, Y., Mitchell, R. P., Davis, A., Rowland, S. J., John, A. W. G., cGonigle, D. and Russell, A. E. 2004. Lost at sea: Where is all the plastik?', *Science*, 304(5672), 838.
- Torkashvand, J., & Farzadkia, M., 2019. *A systematic review on cigarette butt management as a hazardous waste and prevalent litter: control and recycling. Environmental Science and Pollution Research*, 26(12), 11618-11630. <https://doi.org/10.1007/s11356-019-04724-6>
- Troyer, N. De. 2015. Occurrence and distribution of microplastiks in the Scheldt river. V. Waldersee, "Most Brits Support Ban on Harmful Plastic Packaging," YouGov.co.uk, April 19, 2019, <https://yougov.co.uk/ topics/consumer/articles-reports/2019/04/19/most-britssupport-ban-harmful-plastic-packaging>.
- Tiwari, S., et al. (2014). "Pollution characteristics and sources of particulate matter in Banaras Hindu University, India." *Atmospheric Research*"
- Waldersee, V. (2019) 'Most Brits support ban on harmful plastic packaging', 19 April. Available at: <https://yougov.co.uk/topics/consumer/articles-reports/2019/04/19/most-brits-support-ban-harmful-plastic-packaging>.
- Wang, Z. *et al.* (2018) 'Preferential accumulation of small (<300 µm) microplastics in the sediments of a coastal plain river network in eastern China', *Water Research*, 144, pp. 393–401. Available at: <https://doi.org/10.1016/j.watres.2018.07.050>.
- Widianarko, B. and Hantoro, I. (2018) 'Mikroplastik dalam Seafood dari Pantai Utara Jawa', in *Mikroplastik dalam Seafood dari Pantai Utara Jawa*. Universitas Katolik Soegijapranata, Semarang (ISBN 978-602-6865-74-8), p. 93.
- Widianarko, B., dan Inneke, H. 2018. Mikroplastik Dalam Seafood Dari Pantai Utara Jawa. Universitas Katolik Soegijapranata. Semarang.
- Zhang, Y. *et al.* (2020) 'Atmospheric microplastics: A review on current status and perspectives', *Earth-Science Reviews*, 203, p. 103118. Available at: <https://doi.org/10.1016/j.earscirev.2020.103118>.
- Zhao J, Ran W, Teng J, Liu Y, Liu H, Yin X, Cao R, Wang Q. Microplastic pollution in sediments from the Bohai Sea and the Yellow Sea, China. *Sci Total Environ*. 2018 Nov 1;640-641:637-645. doi: 10.1016/j.scitotenv.2018.05.346. Epub 2018 Jun 2. PMID: 29870939.

LAMPIRAN

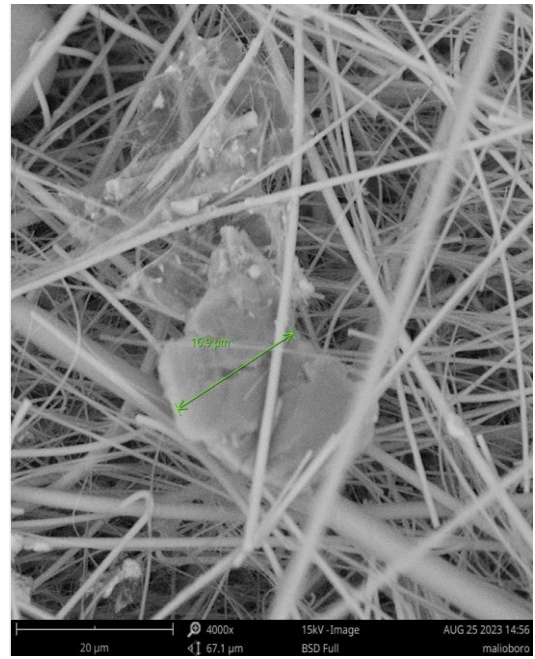
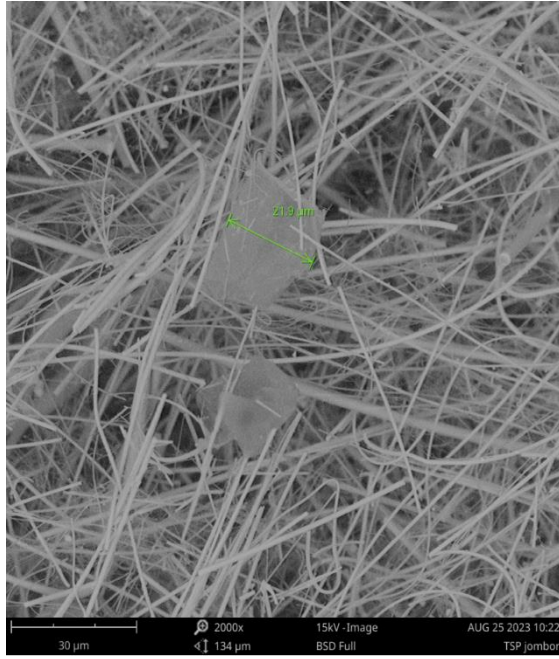
Lampiran 1. Hasil analisis mikroskop



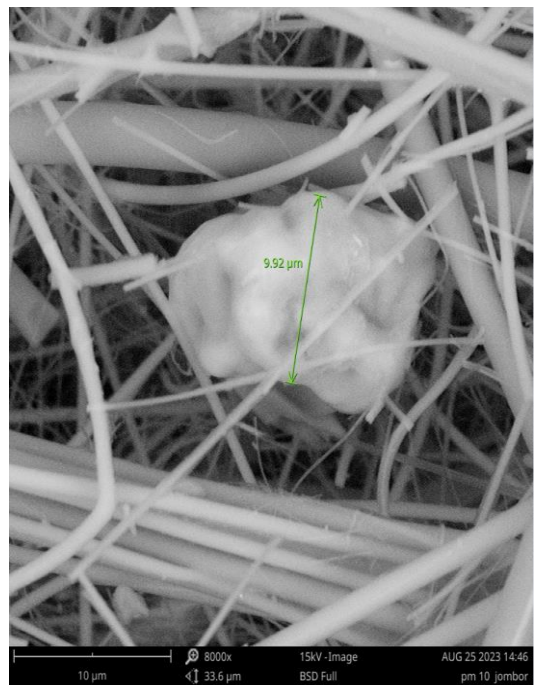
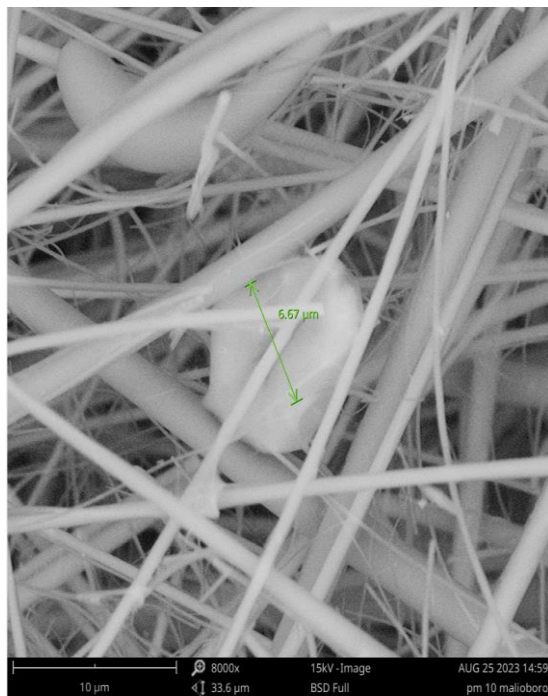
Lampiran 2. Hasil analisis *Scanning Electron Microscope* (SEM)

Hasil Foto Mikroskop TSP dan PM 10

TSP



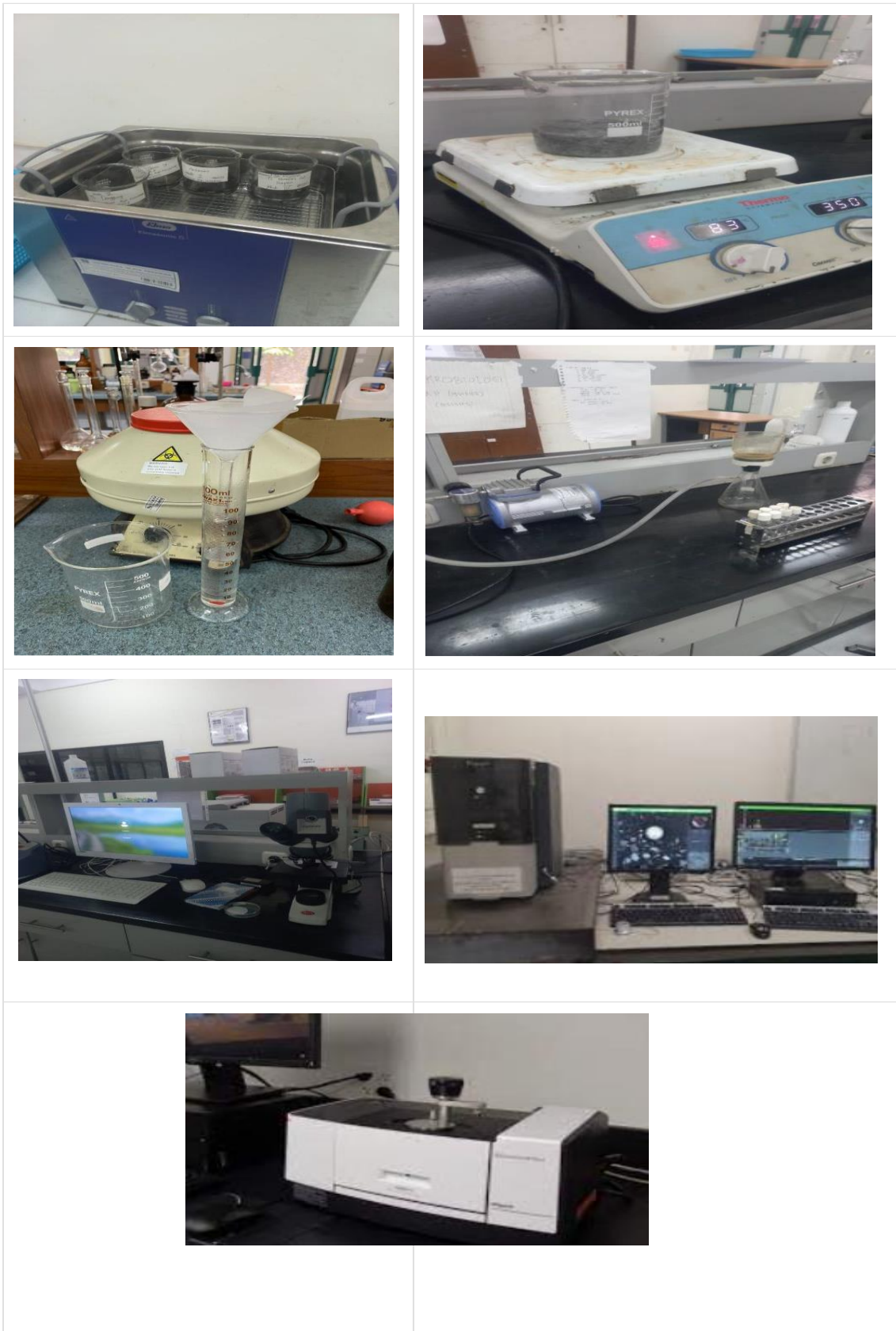
PM 10




Lampiran 3. Dokumentasi pengambilan sampel




Lampiran 4. Alat uji dan analisis sampel mikroplastik



Lampiran 5. Sertifikat kalibrasi alat HVAS dan kalibrator



KEMENTERIAN LINGKUNGAN HIDUP DAN KEHUTANAN
BADAN PENELITIAN PENGEMBANGAN DAN INOVASI
PUSAT PENELITIAN DAN PENGEMBANGAN KUALITAS DAN LABORATORIUM LINGKUNGAN
LABORATORIUM KALIBRASI PUSAT PENELITIAN DAN PENGEMBANGAN KUALITAS
DAN LABORATORIUM LINGKUNGAN



Komite Akreditasi Nasional
Laboratorium Kalibrasi
LK-193-IDN

KAWASAN PUSPIPTEK GEDUNG 210, JALAN RAYA PUSPIPTEK SERPONG – TANGERANG SELATAN, BANTEN 15314
TELP : 021-7563114, 7563331 EXT 107, FAX : 021-7563115, 75672028, WEBSITE <http://p3kl.hbang.menhk.go.id> Email : jasap3kl@gmail.com

No.FR-11-2/KL/P3KLL
Revisi : 2

SERTIFIKAT KALIBRASI
Calibration certificate

Nomor : K - 347 / KAL / P3KLL / 06 / 2021
Number

ALAT :
Equipment
1. Nama : High Volume Air Sampler
Name
2. Kapasitas : -
Capacity
3. Tipe/Model : -
Type/Model

PEMILIK :
Owner
1. Nama : LABORATORIUM KUALITAS LINGKUNGAN FAKULTAS TEKNIK SIPIL
Name DAN PERENCANAAN UNIVERSITAS ISKAM INDONESIA
2. Alamat : Jl. Kali Urang KM. 14,5, Sleman Yogyakarta 55584
Address

STANDAR :
Standard
1. Nama : High Volume Calibrator 3. Nomor Sertifikat : 438320
Name Certificate number
2. Tipe/Model : TE-HVC-V 4. Ketelusuran : Tertelusur ke satuan pengukuran
Type/Model Traceability dan Tisch Environmental

TANGGAL DIKALIBRASI : 09 Juni 2021
Date of calibration

LOKASI KALIBRASI : LABORATORIUM KALIBRASI P3KLL
Location of calibration

ACUAN : Merujuk kepada AS 1 M D 4095 - 91, EPA/625/H-95/010A, SNI 7119. 15:2016
Reference

Diterbitkan tanggal : 11 Juni 2021
Kepala Subbidang Kalibrasi
(Kresnawati, S.Si.)

1. Dilarang memproduksi sertifikat ini tanpa izin tertulis dari yang berwenang kecuali diproduksi secara lengkap.
2. Hasil kalibrasi ini hanya berlaku untuk alat yang bersangkutan.

Hal -1 dari 2



P3KLL, BLI-KLHK

HASIL KALIBRASI

Calibration Result

Identitas Alat yang Dikalibrasi

Nama Alat : High Volume Air Sampler
 Pabrik :-
 Tipe :-
 No. Seri :-
 Tempat Kalibrasi : LABORATORIUM KALIBRASI P3KLL
 Tanggal Kalibrasi : 09 Juni 2021
 No. Sertifikat : K - 346 / KAL / P3KLL / 06 / 2021

1. Kondisi Ruang

	(Rata-rata)	(\pm)	
Tekanan	: 753	2	mmHg
Temperatur	: 24.1	0.2	°C

2. Hasil Kalibrasi

Orifice Transfer Standard	UUT HVAS	Koreksi	Ketidakpastian, k=2;CL=95%
Qstd	(LPM)	(LPM)	%
949.9	900	49.9	9.0
1006.6	1000	6.6	8.5
1092.0	1100	-8.0	7.9
1202.8	1200	2.8	7.2

Keterangan :

1. Ketidakpastian pengukuran yang dilaporkan adalah ketidakpastian bentangan pada tingkat kepercayaan sekitar 95% dengan faktor cakupan k = 2
2. Untuk yang bertanda bintang (*) tidak termasuk kedalam ruang lingkup

Pelaksana Kalibrasi

(Agus. E)

Penyelia Kalibrasi

(Pramana Budi Purwaka)

— Akhir Sertifikat / End of Certificate —

Hal -2 dari 2



SERTIFIKAT KALIBRASI

Calibration Certificate

NO. : E-20130041

DITERBITKAN UNTUK : LABORATORIUM KUALITAS LINGKUNGAN
Issued for FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN
UNIVERSITAS ISLAM INDONESIA
Gedung M. Natsir FTSP Kampus Terpadu UII
Jl. Kaliurang Km 14,5 Ngaglik - Yogyakarta

IDENTITAS ALAT YANG DIKALIBRASI

Instrument Identification

Nama Alat : High Volume Air Sampler Calibrator
Designation

Merek Pabrik : SIBATA
Manufacturer

Model / Tipe : OFD-1 / Orifice : size L
Model / Type

Nomor Seri / Kode : 6Y0230 / ----
Serial / Code Number

Rentang Ukur / Resolusi : 300 ~ 1300 l/min / 0,1 l/min
Range / Resolution

Lokasi Kalibrasi : Lab.Kalibrasi Flowmeter Gas (aliran rendah)
Location of Calibration

Tanggal Terima : 24 Agustus 2020
Date Received

Tanggal Kalibrasi : 27 Agustus 2020
Date Calibrated

Sertifikat ini terdiri atas 2 **Halaman**
This certificate includes *Pages*

Diterbitkan tgl. : 27 Agustus 2020
Date of issue

Kepala BT2MP
Head of The BT2MP


M **Dr. Ir. Tjahjo Pranto, M.Eng.**
NIP. : 19660326 198602 1 001



Kawasan PUSPIPTEK, Gedung 230, SERPONG - TANGERANG SELATAN 15314. Telp: (+62-21) 756 0539 Fax: (+62-21) 756 0538

Dilarang mereproduksi sertifikat / laporan ini dengan cara apapun kecuali dengan proses fotocopy sertifikat / laporan secara keseluruhan.
This certificate / report may not be reproduced other full photographic process.
Sertifikat / laporan ini hanya berlaku bagi alat yang spesifikasinya tertulis di atas dan hanya pada kondisi kalibrasi / uji.
This certificate / report is only valid for instrument specification written and in calibration / test condition.



SERTIFIKAT KALIBRASI

Calibration Certificate

NO. : E-20130041

DITERBITKAN UNTUK : LABORATORIUM KUALITAS LINGKUNGAN
Issued for FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN
UNIVERSITAS ISLAM INDONESIA
Gedung M. Natsir FTSP Kampus Terpadu UII
Jl. Kaliurang Km 14,5 Ngaglik - Yogyakarta

IDENTITAS ALAT YANG DIKALIBRASI


Instrument Identification

Nama Alat <i>Designation</i>	:	High Volume Air Sampler Calibrator
Merek Pabrik <i>Manufacturer</i>	:	SIBATA
Model / Tipe <i>Model / Type</i>	:	OFD-1 / Orifice : size L
Nomor Seri / Kode <i>Serial / Code Number</i>	:	6Y0230 / ----
Rentang Ukur / Resolusi <i>Range / Resolution</i>	:	300 ~ 1300 l/min / 0,1 l/min
Lokasi Kalibrasi <i>Location of Calibration</i>	:	Lab. Kalibrasi Flowmeter Gas (aliran rendah)
Tanggal Terima <i>Date Received</i>	:	24 Agustus 2020
Tanggal Kalibrasi <i>Date Calibrated</i>	:	27 Agustus 2020

Sertifikat ini terdiri atas 2 **Halaman**
This certificate includes *Pages*

Diterbitkan tgl. : 27 Agustus 2020
Date of issue

Kepala BT2MP
Head of The BT2MP


Dr. Ir. Tjahjo Pranto, M.Eng.
NIP. : 19660326 198602 1 001

