

TA/TL/2025/2071



JURUSAN
TEKNIK LINGKUNGAN

TUGAS AKHIR

Identifikasi Konsentrasi Mikroplastik pada Air Hujan di Kampus Terpadu Universitas Islam Indonesia dan Kawasan Perkotaan Yogyakarta

Elvino Rudi Hendrawan
21513013

Dosen Pembimbing 1:

Prof. Dr.-Ing. Ir. Widodo Brontowiyono, M.Sc., I.P.M., ASEAN Eng.

Dosen Pembimbing 2:

Adam Rus Nugroho, S.T., M.T., Ph.D.

Program Studi Teknik Lingkungan Program Sarjana

Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan

Universitas Islam Indonesia

2025



DEPARTMENT
ENVIRONMENTAL ENGINEERING

BACHELOR THESIS

Identification of Microplastic Concentration in Rainwater at the Integrated Campus of the Islamic University of Indonesia and the Yogyakarta Urban Area

**Elvino Rudi Hendrawan
21513013**

Supervisor 1:

**Prof. Dr.-Ing. Ir. Widodo Brontowiyono, M.Sc., I.P.M., ASEAN
Eng.**

Supervisor 2:

Adam Rus Nugroho, S.T., M.T., Ph.D.

**Environmental Engineering Bachelor Program
Faculty of Civil Engineering and Planning
Universitas Islam Indonesia
2025**

LEMBAR PENGESAHAN

TUGAS AKHIR


Identifikasi Konsentrasi Mikroplastik pada Air Hujan di Kampus Terpadu Universitas Islam Indonesia dan Kawasan Perkotaan Yogyakarta

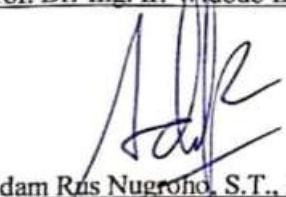
Tugas akhir ini disusun dan diajukan untuk memenuhi salah satu syarat memperoleh gelar Sarjana Teknik (S.T.) pada Program Studi Teknik Lingkungan Program Sarjana Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan Universitas Islam Indonesia.


Elvino Rudi Hendrawan

20513013

Tugas akhir ini telah diuji pada tanggal 13 Oktober 2025 dan disetujui oleh:


Prof. Dr.-Ing. Ir. Widodo Brontowiyono, M.Sc., I.P.M., ASEAN Eng. (Pembimbing 1)


Adam Rus Nugroho, S.T., M.T., Ph.D. (Pembimbing 2)

 17/10/25
Dr. Suphia Rahmawati, S.T., M.T. (Penguji)

Mengetahui,

Ketua Prodi Teknik Lingkungan Program Sarjana

 17/10/25

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

PERNYATAAN

Saya, penyusun tugas akhir ini, 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 merupakan gagasan, rumusan, dan studi 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. Perangkat lunak atau program komputer yang digunakan dalam tugas akhir ini sepenuhnya menjadi tanggung jawab saya. Bukan tanggung jawab Universitas Islam Indonesia.
5. Tidak ada penggunaan kecerdasan buatan (*artificial intelligence*, AI) dalam penyusunan karya tugas akhir ini kecuali:
 - a. untuk membantu dalam kadar yang wajar (seperti membantu mengoreksi, mencari ide, dan mencari referensi), dan
 - b. tercantum dan dijelaskan perihal penggunaannya secara eksplisit di dalam karya tugas akhir ini.Implikasi dari penggunaan AI tersebut menjadi tanggung jawab saya sepenuhnya.
6. Pernyataan ini saya buat dengan sebenar-benarnya. Apabila di kemudian hari terdapat penyimpangan dan ketidakbenaran dalam pernyataan ini, saya bersedia menerima sanksi akademik dengan pencabutan gelar yang sudah diperoleh serta sanksi lainnya sesuai dengan norma yang berlaku di perguruan tinggi.

Yogyakarta, 13 Oktober 2025
Yang membuat Pernyataan,



Elvino Rudi Hendrawan
NIM: 21513013

PRAKATA

Assalamualaikum warahmatullahi wabarakatuh.

Puji syukur atas kehadiran Allah SWT. Atas segala nikmat dan karunianya sehingga penulis dapat menyelesaikan tugas akhir dilaksanakan dari bulan April 2025 hingga Juli 2025 yang berjudul “Identifikasi Konsentrasi Mikroplastik pada Air Hujan di Kampus Terpadu Universitas Islam Indonesia dan Kawasan Perkotaan Yogyakarta”. Penyusunan Laporan Tugas Akhir ini disusun sebagai salah satu syarat untuk menyelesaikan program pendidikan Strata Satu (S1) pada Program Studi Teknik Lingkungan, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Universitas Islam Indonesia

Dalam mengerjakan tugas akhir ini banyak melibatkan pihak-pihak dalam mendukung proses penelitian ini. Penulis ingin menyampaikan rasa terima kasih yang tak terhingga kepada semua pihak baik berupa dukungan, bantuan, bimbingan dan nasehat. Maka pada kesempatan ini penulis ingin menyampaikan terima kasih kepada:

1. Allah subhanahu wa ta'ala yang telah memberikan rahmat, ilmu pengetahuan, kesehatan dan kelancaran dalam melaksanakan penelitian sehingga penulis dapat menyelesaikan penyusunan laporan tugas akhir ini.
2. Kepada kedua orang tua dan seluruh keluarga (keluarga mas ronal dan keluarga mba intan) yang selalu tidak lupa memberikan dukungan, semangat, doa serta motivasi dan menjadi bagian penting dalam perjalanan penulis.
3. Kepada seluruh dosen, staff, dan keluarga besar Program Studi Teknik Lingkungan, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Universitas Islam Indonesia. atas bantuan, pengajaran, dan pengalaman yang telah diberikan. Semoga ilmu yang diperoleh penulis selama masa studi dapat bermanfaat di masa mendatang.
4. Kepada dosen pembimbing Tugas Akhir Bapak Prof. Dr.-Ing. Ir. Widodo Brontowiyono, M.Sc., I.P.M., ASEAN Eng. dan Bapak Adam Rus Nugroho, S.T., M.T., Ph.D. serta dosen penguji Ibu Dr. Suphia Rahmawati, ST, MT. yang telah berkenan memberikan bimbingan dan masukan serta waktu dan kesempatan kepada penulis selama proses pengerjaan tugas akhir.

5. Kepada Staff Laboratorium Program Studi Teknik Lingkungan yang selalu memberikan bantuan, arahan, dan bimbingan selama penulis menggunakan laboratorium.
6. Kepada Cahyani Marginingsih yang telah memberikan support, semangat serta doa dalam melakukan penelitian kepada penulis.
7. Kepada Raihan, Evan, Hafidz yang memberikan masukan dan saran kepada penulis.
8. Penulis sangat berterimakasih kepada diri sendiri yang telah bertanggungjawab untuk menyelesaikan penelitian yang sudah dimulai.

Penulis menyadari bahwa dalam penulisan laporan tugas akhir ini masih banyak kekurangan dan keterbatasan ilmu. Oleh karena itu, kritik dan saran yang membangun sangat diharapkan. Semoga laporan Tugas Akhir ini bermanfaat baik bagi penulis maupun bagi pembaca.

Wasalamu'alaikum Warahmatullahi Wabarakatuh

Yogyakarta, 13 Oktober 2025



Elvino Rudi Hendrawan

Identifikasi Konsentrasi Mikroplastik pada Air Hujan di Kampus Terpadu Universitas Islam Indonesia dan Kawasan Perkotaan Yogyakarta

Mahasiswa : Elvino Rudi Hendrawan
NIM : 21513013
Program Studi : Teknik Lingkungan - Program Sarjana
Pembimbing I : Prof. Dr.-Ing. Ir. Widodo Brontowiyono, M.Sc.
Pembimbing II : Adam Rus Nugroho, S.T., M.T., Ph.D.

ABSTRAK

Penelitian ini bertujuan untuk mengidentifikasi konsentrasi dan karakteristik mikroplastik yang terkandung dalam air hujan di wilayah lingkungan Kampus Universitas Islam Indonesia (UII) dan kawasan perkotaan Yogyakarta. Pengambilan sampel dilakukan pada bulan Maret 2025 di enam titik lokasi dengan total sepuluh sampel air hujan dan dua blanko sebagai pembanding. Proses identifikasi mikroplastik dilakukan melalui tahapan pengambilan, penyaringan, serta pengamatan menggunakan mikroskop. Hasil penelitian menunjukkan bahwa seluruh sampel positif mengandung mikroplastik dengan jumlah total 821 partikel. Mikroplastik jenis fiber merupakan bentuk dominan dengan persentase sebesar 76,72%, diikuti oleh fragment dan film. Warna yang paling dominan adalah hitam. Jumlah mikroplastik tertinggi ditemukan di kawasan Ringroad Utara dan Ringroad Barat yang merupakan area dengan kepadatan kendaraan tinggi. Temuan ini mengindikasikan bahwa aktivitas kepadatan kendaraan bermotor memiliki peran penting dalam distribusi mikroplastik melalui air hujan.

Kata kunci: Mikroplastik, Air hujan, Yogyakarta, Fiber, Hitam, Konsentrasi

Identification of Microplastic Abundance in Rainwater at the Integrated Campus of the Islamic University of Indonesia and Urban Areas of Yogyakarta

Student : Elvino Rudi Hendrawan
Student Number : 21513013
Study Program : Environmental Engineering – Bachelor Program
Supervisor I : Prof. Dr.-Ing. Ir. Widodo Brontowiyono, M.Sc.
Supervisor II : Adam Rus Nugroho, S.T., M.T., Ph.D.

ABSTRACT

This study aims to identify the concentration and characteristics of microplastics contained in rainwater in the campus area of the Islamic University of Indonesia (UII) and the urban area of Yogyakarta. Sampling was conducted in March 2025 at six locations with a total of ten rainwater samples and two blanks for comparison. The microplastic identification process was carried out through the stages of collection, filtering, and observation under a microscope. The results showed that all samples tested positive for microplastics with a total of 821 particles. Fiber microplastics were the dominant form with a percentage of 76.72%, followed by fragments and films. The most dominant color was black. The highest number of microplastics was found in the North Ring Road and West Ring Road areas, which are areas with high vehicle density. These findings indicate that motorized vehicle activity plays a significant role in the distribution of microplastics through rainwater.

Keywords: Microplastics, Rainwater, Yogyakarta, Fiber, Black, concentration

DAFTAR ISI

LEMBAR PENGESAHAN	i
PERNYATAAN.....	ii
PRAKATA.....	iii
ABSTRAK	v
ABSTRACT	vi
DAFTAR ISI.....	vii
DAFTAR TABEL.....	ix
DAFTAR GAMBAR	x
DAFTAR LAMPIRAN.....	xi
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Perumusan Masalah.....	3
1.3 Tujuan Penelitian.....	3
1.4 Manfaat Penelitian.....	4
BAB II TINJAUAN PUSTAKA.....	5
2.1 Mikroplastik	5
2.2 Transportasi Mikroplastik Air Hujan	6
2.3 Klasifikasi Mikroplastik	8
2.4 Penelitian Terdahulu.....	10
BAB III METODE PENELITIAN.....	11
3.1 Waktu dan Lokasi Penelitian.....	11
3.2 Tahapan Penelitian.....	15
3.3 Metode Penelitian.....	15
3.3.1 Pengambilan Sampel.....	15
3.3.2 Pengujian Laboratorium	18
3.4 Identifikasi Mikroskop	19
3.5 Identifikasi Spektrofotometri FT-IR	20
3.6 Pengumpulan data	22
3.6.1 Data Primer	22
3.6.2 Data Sekunder.....	23

3.7 Analisis dan Pembahasan	24
3.7.1 Perhitungan Konsentrasi Mikroplastik	24
3.7.2 Perbandingan dengan Data Mikroplastik Air Hujan.....	25
3.7.3 Perbandingan Data Mikroplastik Udara ambien dan debu jalan	25
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN	26
4.1 Identifikasi Karakteristik dan jumlah Mikroplastik	26
4.1.1 Identifikasi Konsentrasi Mikroplastik	27
4.1.2 Identifikasi Mikroplastik Berdasarkan Bentuk	30
4.1.3 Identifikasi Mikroplastik Berdasarkan Warna.....	33
4.2 Identifikasi mikroplastik dengan Spektrofotometri FT-IR.....	37
4.3 Keterkaitan Hasil Penelitian Mikroplastik Air Hujan	39
4.3.1 Keterkaitan dengan kondisi Meteorologi.....	39
4.3.2 Keterkaitan dengan Kepadatan Kendaraan.....	43
4.4 Perbandingan Hasil Penelitian Mikroplastik Air Hujan.....	45
4.4.1 Perbandingan dengan penelitian RingRoad Yogyakarta	45
4.4.2 Perbandingan dengan penelitian Air Hujan di Yogyakarta	48
BAB V PENUTUP.....	Error! Bookmark not defined.
5.1 Kesimpulan.....	Error! Bookmark not defined.
5.2 Saran	Error! Bookmark not defined.
DAFTAR PUSTAKA	52
LAMPIRAN.....	57
RIWAYAT HIDUP.....	58

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Daerah Studi Mikroplastik Air Hujan dari Penelitian Terdahulu	10
Tabel 3.1 Gambaran Lokasi Penelitian.....	12
Tabel 3.2 Alat dan Bahan sampel	19
Tabel 3.3 Senyawa Polimer	20
Tabel 4.1 Konsentrasi Mps	27
Tabel 4.2 Parameter Cuaca Saat Pengambilan Sampel Air Hujan	40
Tabel 4.3 Kepadatan lendaraan bermotor	43
Tabel 4.4 Perbandingan penelitian sebelumnya dikawasan RingRoad Utara	45
Tabel 4.5 Perbandingan penelitian sebelumnya dikawasan RingRoad Barat.....	46
Tabel 4.6 Perbandingan penelitian sebelumnya dikawasan RingRoad Barat.....	48

DAFTAR GAMBAR

Gambar 1.1 Gap Analisis.....	2
Gambar 2.1 Kompleksitas siklus sumber, jalur transportasi, nasib akhir.....	7
Gambar 2.2 Gambar dari hasil uji laboratorium di <i>Bahia Blanca, Argentina</i>	8
Gambar 3.1 Lokasi Sampling Penelitian	11
Gambar 3.2 Tahapan Penelitian.....	15
Gambar 3.3 Botol Kaca Gelap.....	16
Gambar 3.4 Tahapan Sampling	17
Gambar 3.5 Pengambilan air hujan	17
Gambar 3.6 Tahapan Pengujian Labolatorium	18
Gambar 4.1 Klasifikasi Mps Berdasarkan Jumlah	27
Gambar 4.2 Bentuk Mps	30
Gambar 4.3 Klasifikasi Jumlah Mps berdasarkan bentuk	31
Gambar 4.4 Persentase Bentuk Mps dari keseluruhan lokasi sampling	31
Gambar 4.5 Warna Mps.....	34
Gambar 4.6 Klasifikasi Mps berdasarkan warna	35
Gambar 4.7 Persentase Warna Mps dari keseluruhan lokasi sampling	35
Gambar 4.8 Spektrum FTIR Partikel Mikroplastik	38
Gambar 4.9 Hubungan Jumlah Mikroplastik dan Kendaraan	44

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1.1 Pengambilan sampel.....	57
Lampiran 1.2 Pengujian Sampel.....	57

BAB I

PENDAHULUAN

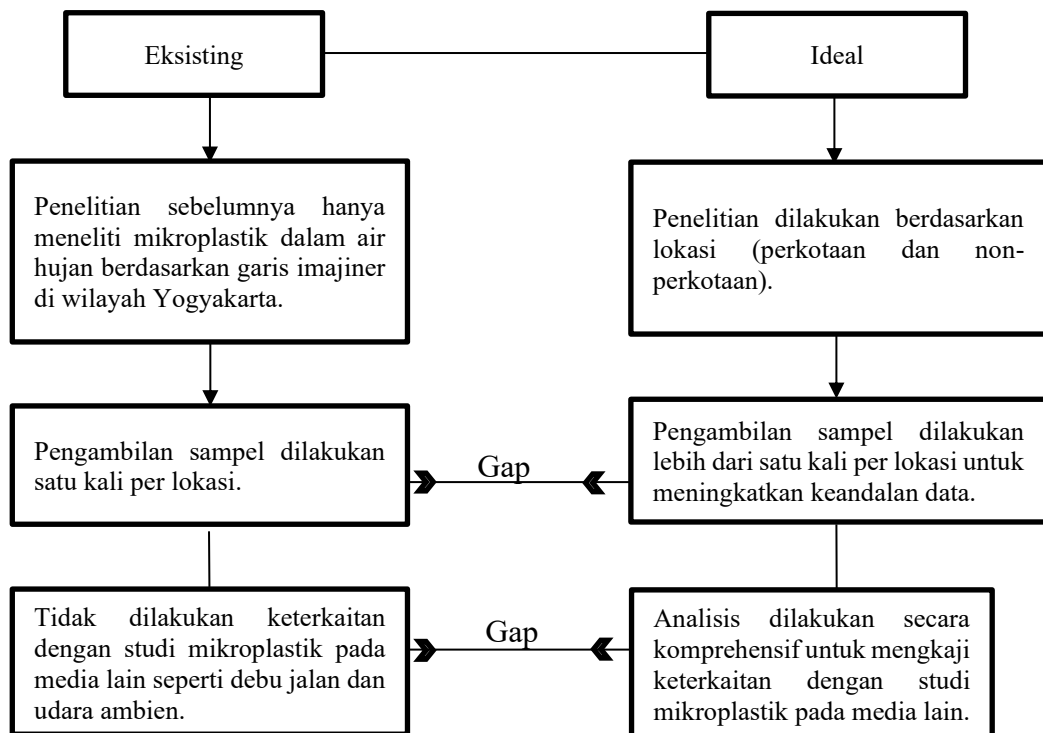
1.1 Latar Belakang

Kualitas lingkungan di Indonesia menghadapi tekanan besar akibat aktivitas manusia, khususnya dari sektor transportasi. Seiring meningkatnya volume kendaraan, konsentrasi polutan di udara turut meningkat tidak hanya dalam bentuk emisi gas buang (Prilila dkk., 2016), tetapi juga dalam bentuk pencemaran non-biologis tersembunyi, yakni mikroplastik. Partikel-partikel ini tidak lagi hanya teridentifikasi di perairan dan tanah, namun telah terdeteksi secara signifikan dalam kompartemen atmosfer. Hal ini menimbulkan kekhawatiran baru, karena atmosfer berperan sebagai distributor yang memungkinkan polutan tersebut terdeposisi ke permukaan bumi, khususnya secara langsung mencemari air hujan.

Aspek dari pencemaran atmosferik ini adalah keterkaitan antara sumber emisi di darat dengan kontaminasi pada air hujan. Dalam konteks ini, aktivitas transportasi darat diidentifikasi sebagai salah satu kontributor mikroplastik atmosfer yang paling signifikan (Kole et al., 2017). Partikel yang terlepas ke permukaan jalan akibat gesekan ban dan abrasi komponen kendaraan kemudian dapat terbawa kembali oleh turbulensi angin, memungkinkannya memasuki siklus transportasi atmosfer. Setelah berada di atmosfer, potensi transportasi jarak jauh ini didukung oleh sifat fisik partikel ukurannya yang kecil serta densitasnya yang rendah memungkinkan suspensi di atmosfer untuk waktu yang lama (Dris et al., 2015). Peran atmosfer sebagai reservoir dan jalur transpor jarak jauh ini didukung oleh temuan mikroplastik pada ketinggian di Pegunungan Pyrenees (Allen et al., 2019). Pada akhirnya, partikel yang tersuspensi ini akan terdeposisi kembali ke permukaan melalui pengaruh gravitasi (deposisi kering) atau melalui presipitasi (deposisi basah). Proses deposisi basah melalui air hujan inilah mekanisme yang menjelaskan polutan yang berasal dari jalan raya dapat teridentifikasi di dalam sampel air hujan, sekaligus mengubah air hujan menjadi vektor penyebaran mikroplastik.

Penelitian sebelumnya di lokasi studi telah mengidentifikasi keberadaan mikroplastik dari sumber transportasi pada berbagai kompartemen lingkungan.

Studi oleh Hanifah (2023) telah mengkonfirmasi keberadaan mikroplastik dalam udara ambien, sementara Farah (2024) berfokus pada debu jalan di ringroad Yogyakarta. Khusus pada media air hujan, penelitian oleh Utami et al. (2023) juga mengindikasikan abrasi ban sebagai salah satu sumber potensial kontaminasi mikroplastik. Meskipun temuan-temuan tersebut telah memvalidasi adanya mikroplastik air hujan di Yogyakarta, masih terdapat kesenjangan (GAP) penelitian. Secara spesifik, belum terdapat studi yang secara langsung membandingkan konsentrasi dan karakteristik mikroplastik air hujan antara kawasan dengan intensitas aktivitas transportasi yang berbeda. Oleh karena itu, penelitian ini dirancang untuk mengisi kesenjangan tersebut, dengan fokus melakukan analisis komparatif konsentrasi dan karakteristik mikroplastik air hujan antara kawasan urban (perkotaan) yang memiliki intensitas lalu lintas tinggi dan kawasan non-urban yang berfungsi sebagai area kontrol. Analisis kesenjangan mendalam antara penelitian ini dengan penelitian-penelitian sebelumnya diringkas pada Gambar 1.1.



Gambar 1.1 Gap Analisis

1.2 Perumusan Masalah

Rumusan masalah penelitian yang akan diangkat pada Tugas akhir skripsi ini sebagai berikut.

- 1) Bagaimana konsentrasi mikroplastik pada air hujan yang turun di Kampus Terpadu Universitas Islam Indonesia dan kawasan perkotaan (Ringroad Barat, Ringroad Utara, Tugu dan Malioboro Daerah Istimewa Yogyakarta)?
- 2) Bagaimana karakteristik mikroplastik (warna, jenis polimer mikroplastik, dan bentuk) yang dihasilkan oleh air hujan yang berada di Kampus Terpadu Universitas Islam Indonesia dan kawasan Perkotaan (Ringroad Barat, Ringroad Utara, Tugu dan Malioboro Daerah Istimewa Yogyakarta)?
- 3) Bagaimana dugaan hubungan antara faktor (tingkat aktivitas kendaraan dan parameter cuaca) dengan konsentrasi dan karakteristik mikroplastik yang ditemukan di Kampus Terpadu Universitas Islam Indonesia dan kawasan Perkotaan (Ringroad Barat, Ringroad Utara, Tugu dan Malioboro Daerah Istimewa Yogyakarta)?

1.3 Tujuan Penelitian

Berdasarkan uraian rumusan masalah, maka penelitian Tugas Akhir ini dilakukan Sebagai Berikut:

- 1) Menganalisis konsentrasi mikroplastik air hujan yang turun pada lokasi berbeda di Kampus Terpadu Universitas Islam Indonesia dan kawasan Perkotaan (Ringroad Barat, Ringroad Utara, Tugu dan Malioboro Daerah Istimewa Yogyakarta).
- 2) Mengidentifikasi karakteristik mikroplastik (warna, jenis polimer, dan bentuk) yang terkandung di dalam air hujan yang berada di Kampus Terpadu Universitas Islam Indonesia dan kawasan Perkotaan (Ringroad Barat, Ringroad Utara, Tugu dan Malioboro Daerah Istimewa Yogyakarta).
- 3) Menganalisis dugaan hubungan (korelasi) antara faktor-faktor (aktivitas kendaraan dan parameter cuaca) dengan konsentrasi dan karakteristik mikroplastik yang ditemukan di Kampus Terpadu Universitas Islam Indonesia

dan kawasan Perkotaan (Ringroad Barat, Ringroad Utara, Tugu dan Malioboro Daerah Istimewa Yogyakarta).

1.4 Manfaat Penelitian

Adapun manfaat yang dapat diperoleh dari penelitian ini adalah:

- 1) Memberikan informasi mengenai mikroplastik yang ada pada air hujan sehingga masyarakat dapat mengetahuinya.
- 2) Memberikan informasi adanya mikroplastik air hujan akibat aktivitas kendaraan.
- 3) Memberikan informasi mengenai karakteristik dan konsentrasi Mikroplastik pada air hujan.

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Mikroplastik

Isu kontaminasi mikroplastik mulai mendapat perhatian ilmiah secara global ketika partikel-partikel ini pertama kali terdeteksi di perairan Atlantik Utara sekitar tahun 1970 (Carpenter & Smith, 1972). Secara umum, mikroplastik didefinisikan sebagai partikel plastik heterogen yang memiliki ukuran bervariasi dalam rentang kurang dari 5 mm. Keberadaannya di lingkungan telah menjadi fokus penelitian intensif karena sifatnya yang persisten dan potensi dampaknya terhadap ekosistem. Berdasarkan proses terbentuknya, mikroplastik dikategorikan menjadi dua jenis utama: primer dan sekunder.

1. Mikroplastik Primer merupakan partikel plastik yang diproduksi secara komersial dalam ukuran mikro dan sengaja dilepaskan langsung ke lingkungan. Contoh paling umum dari mikroplastik primer adalah microbeads, yaitu butiran plastik berdiameter sangat kecil yang diformulasikan sebagai scrub eksfolian dalam berbagai produk konsumsi seperti deterjen, kosmetik, sabun mandi, skincare, dan pasta gigi (Cordova, 2016).
2. Mikroplastik Sekunder: Merupakan jenis mikroplastik yang paling umum ditemukan di lingkungan. Partikel ini berasal dari hasil degradasi atau fragmentasi material plastik yang berukuran lebih besar (makroplastik). Proses degradasi ini didorong oleh berbagai faktor lingkungan, seperti paparan radiasi ultraviolet (UV) dari sinar matahari, proses oksidasi kimiawi, serta abrasi mekanik akibat gaya fisik seperti ombak atau gesekan (Ramadhan & Sembiring, 2019).

Akibat sifatnya yang sulit terurai dan sumber pelepasannya yang terus menerus, polutan ini telah terakumulasi secara masif di berbagai kompartemen lingkungan. Awalnya, fokus penelitian tertuju pada ekosistem akuatik, di mana konsentrasi mikroplastik yang tinggi teridentifikasi di perairan dan sedimen (Widianarko & Hantoro, 2018). Di lingkungan ini, mikroplastik menimbulkan ancaman serius karena dapat masuk ke dalam rantai makanan. Partikel ini

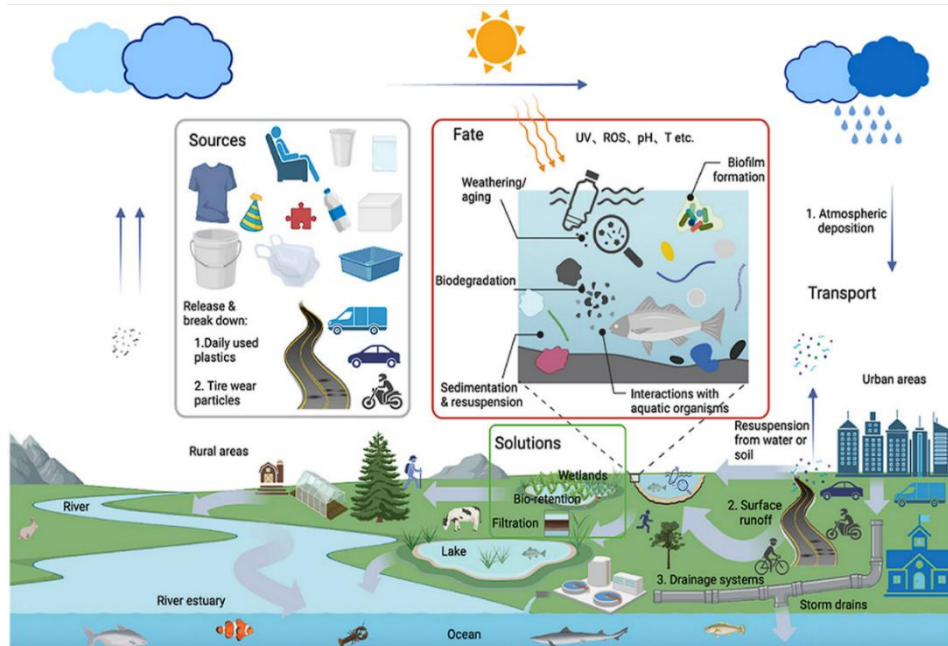
seringkali dikira sebagai makanan oleh organisme tingkat rendah seperti plankton. Konsumsi mikroplastik oleh plankton ini memicu terjadinya transfer polutan ke tingkat trofik yang lebih tinggi, membahayakan biota laut dan berpotensi berakhir pada manusia. Namun demikian, kini disadari bahwa kontaminasi mikroplastik tidak terbatas pada lingkungan perairan. Penelitian terbaru menunjukkan bahwa mikroplastik juga merupakan polutan signifikan di atmosfer. Partikel-partikel ini dapat terangkut ke atmosfer dari berbagai sumber terestrial, termasuk dari fragmentasi serat tekstil dan abrasi ban kendaraan di jalan raya. Partikel yang berada di atmosfer ini kemudian dapat mengendap kembali ke permukaan bumi melalui deposisi kering (jatuhan debu) atau deposisi basah, yaitu bersama air hujan.

2.2 Transportasi Mikroplastik Air Hujan

Air hujan merupakan salah satu vektor transportasi krusial dalam siklus pergerakan mikroplastik di lingkungan. Perannya bersifat ganda yang bertindak sebagai mekanisme pembersihan atmosfer dan sebagai pendorong limpasan permukaan. Pertama, melalui mekanisme deposisi atmosfer (pengendapan atmosfer), di mana partikel mikroplastik yang ringan seperti fragmen ban, serat tekstil, dan partikel lain yang tersuspensi berada di udara (Allen et al., 2020). Air hujan kemudian bertindak "mencuci" kolom udara, mengikat partikel-partikel ini dan membawanya jatuh ke permukaan daratan dan perairan sebagai "deposisi basah". Kedua, dan yang paling signifikan di area urban, air hujan memicu limpasan permukaan (surface runoff). Saat air hujan mengalir di atas permukaan kedap air seperti jalan raya, atap, dan area industri, ia menggerus dan mengakumulasi polutan yang telah terendap, termasuk konsentrasi tinggi mikroplastik dari debu jalan (terutama dari abrasi ban) dan fragmentasi sampah.

Sebagai jalur transportasi alami, air hujan yang telah terkontaminasi polutan ini akan mengalir melalui sistem drainase perkotaan (saluran pembuangan badai) dan akhirnya bermuara ke badan air yang lebih besar, seperti sungai, danau, dan akhirnya pesisir laut. Proses ini secara efektif memindahkan polusi mikroplastik dari sumber-sumber terestrial (daratan) langsung ke ekosistem akuatik. Di lingkungan akuatik inilah proses sedimentasi terjadi.

Karena densitasnya, banyak partikel mikroplastik yang akhirnya mengendap dan terakumulasi dalam konsentrasi tinggi di sedimen. Akumulasi ini menimbulkan ancaman ekologis yang serius. Mikroplastik diketahui memiliki sifat hidrofobik, yang memungkinkannya menyerap dan mengakumulasi senyawa polutan beracun, seperti Persistent Organic Pollutants (POPs), dari lingkungan sekitarnya. Ketika biota dasar (bentik) atau organisme penyaring (seperti kerang) secara tidak sengaja mengonsumsi partikel mikroplastik yang telah terkontaminasi racun ini, terjadi transfer toksin ke dalam rantai makanan. Hal ini dapat berdampak buruk tidak hanya pada kesehatan biota tersebut, tetapi juga pada organisme di tingkat trofik yang lebih tinggi. Sebagai bukti tingginya tingkat akumulasi di lingkungan perairan, sebuah studi di perairan Singapura menemukan konsentrasi mikroplastik di sedimen telah mencapai 1.282 partikel/kg (Nur & Obbard, 2014).



Sumber : Liangfu wei et al (2023)

Gambar 2.1 Kompleksitas siklus sumber, jalur transportasi, nasib akhir di lingkungan, hingga strategi mitigasi

Skema tersebut mengilustrasikan dengan jelas bagaimana sumber-sumber antropogenik (aktivitas manusia seperti limbah domestik dan abrasi ban di jalan raya) melepaskan mikroplastik ke lingkungan. Gambar 2.1 kemudian memvisualisasikan berbagai proses yang dialami partikel ini, termasuk degradasi (akibat paparan UV dan oksidasi), interaksi dengan biota akuatik, serta proses sedimentasi yang telah dijelaskan sebelumnya. Secara langsung menyoroti jalur

transportasi utama yang dimediasi oleh air, seperti limpasan permukaan (2. Surface runoff) dan sistem drainase (3. Drainage systems), yang menegaskan peran sentral air hujan dalam mendistribusikan polutan ini ke seluruh ekosistem. Terakhir, skema ini turut menunjukkan berbagai upaya pengendalian dan solusi berbasis alam (nature-based solutions) seperti wetlands dan sistem bio-retensi yang dirancang untuk menjebak polutan ini sebelum mencapai lautan (Liangfu wei et al., 2023)

2.3 Klasifikasi Mikroplastik

Identifikasi mikroplastik di laboratorium bergantung pada klasifikasi visual berdasarkan karakteristik morfologinya.



Sumber : Villafañe et al. (2023).

Gambar 2.2 Gambar dari hasil uji laboratorium di *Bahia Blanca, Argentina*. dari partikel terpilih yang diamati (fragmen, serat, dan film) a. fragmen biru muda b. serat kuning c. serat merah d. fragmen hitam e. serat hitam f. serat biru muda g. serat hitam. h. film hitam.

Tiga parameter utama yang selalu digunakan untuk mengklasifikasikan partikel yang terduga mikroplastik adalah ukuran, warna, dan bentuk.

1. Karakteristik ukuran (panjang atau diameter partikel) (Lusher et al., 2015), partikel berukuran lebih kecil memiliki rasio luas permukaan terhadap volume yang tinggi.
2. Warna Karakteristik warna juga dicatat secara rinci selama identifikasi visual. Pengamatan warna (misalnya hitam, biru, merah, kuning, transparan) dapat

memberikan petunjuk awal mengenai kemungkinan sumber polimer. Sebagai contoh, fragmen dan serat berwarna hitam pekat seringkali diduga berasal dari abrasi ban, sementara serat berwarna biru cerah atau merah sering dikaitkan dengan filamen tekstil (Villafañe et al., 2023). Warna-warna cerah lainnya mungkin menunjukkan asal dari fragmen kemasan produk. Meskipun demikian, identifikasi warna juga memiliki tantangan, karena paparan sinar UV dan proses pelapukan di lingkungan dapat memudarkan pigmen asli plastik.

3. karakteristik terpenting untuk pelacakan sumber (source tracking) adalah bentuk morfologi partikel. Bentuk partikel secara langsung mencerminkan sejarah dan sumber asalnya. Tiga bentuk utama yang paling umum dilaporkan dalam studi atmosfer dan air hujan adalah fragmen, serat (fiber), dan film

a. Fragment

Partikel berbentuk pecahan tidak beraturan yang dihasilkan dari degradasi plastik makro akibat proses fisik maupun kimia yang berasal dari lalu lintas yang padat berkontribusi pada pelepasan fragmen abrasi ban dan plastik kemasan. Penelitian di Beijing, Tiongkok menunjukkan Deposisi Basah Mikroplastik yang Dapat Diangkut Secara Global ($<25 \mu\text{m}$) yang Melayang di Atas Megakota Beijing (Chen et al., 2023).

b. Serat (Fiber)

Partikel yang berbentuk panjang dan tipis, yang paling sering teridentifikasi dalam deposisi basah (wet deposition) air hujan yang berasal dari abrasi tekstil sintetis serta keausan ban kendaraan. Penelitian di Guangzhou, Tiongkok menunjukkan Transportasi atmosfer dan pengendapan mikroplastik di lingkungan perkotaan subtropis (Huang et al., 2021).

c. Film

Partikel berbentuk lembaran tipis yang umumnya berasal dari kantong plastik atau plastik sekali pakai yang tetap signifikan sebagai bukti keberadaan plastik tipis dalam udara. Penelitian di Bahia Blanca, Argentina Prancis menunjukkan Mikroplastik dalam air hujan antropogenik (Villafañe et al., 2023).

2.4 Penelitian Terdahulu

Penelitian terdahulu memberikan landasan yang penting untuk memahami konteks dan latar belakang masalah yang akan dibahas, serta menjadi acuan bagi metodologi yang digunakan. Studi-studi sebelumnya berfokus pada berbagai aspek terkait mikroplastik, mulai dari karakteristik fisiknya, sumber potensial, hingga metode identifikasi dan analisis yang digunakan. Informasi lebih rinci mengenai penelitian-penelitian terdahulu yang menjadi acuan dapat dilihat pada Tabel 2.1.

Tabel 2.1 Daerah Studi Mikroplastik Air Hujan dari Penelitian Terdahulu

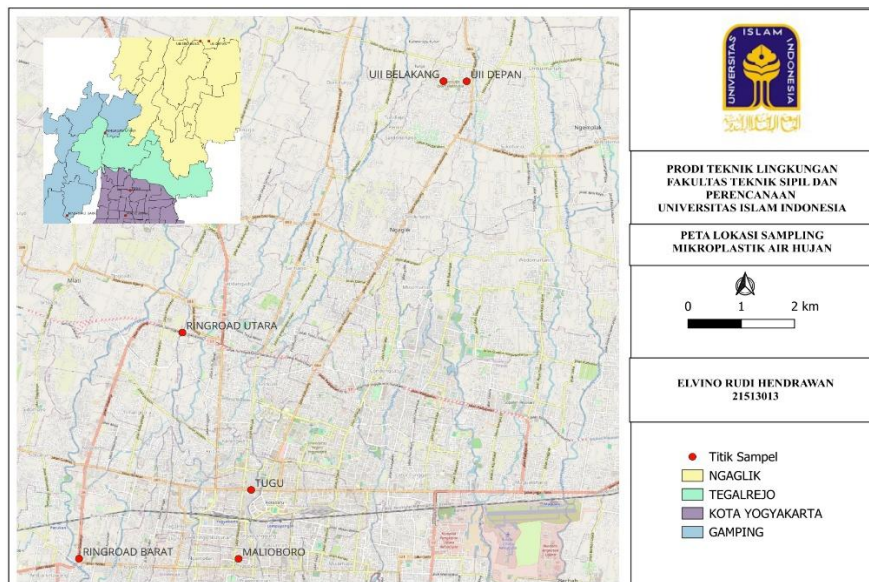
Daerah Studi	Jenis Sampel Hujan	Konsentrasi MP	Bentuk	Warna	Komposisi	Metode	Referensi
Yogyakarta, Indonesia	Dampak atmosfer	200 – 400 partikel/L, 101-500 μm	Fiber 47%, film 34%, fragment 20%	Hitam, transparan, coklat, kuning, biru, hijau	Polisoprena	μ - FTIR	Utami, dkk., 2021
Paris, Prancis	Dampak atmosfer	2,1–355 partikel	Serat	Tidak tersedia	29% sintesis	μ - Raman	Dris dkk., 2016
Hamburg, Jerman	Deposisi atmosfer	136–512 partikel	Fragmen:>90% Serat: <10%	Tidak tersedia	PE: 48,8% EVA: 22% PTFE PAV	μ -Raman	Klein dan Fischer, 2019
Dongguan, Tiongkok	Fallout atmosfer (deposisi kering & basah)	mayoritas serat 200–700 μm	Serat 80%	Biru Merah Transparan Abu-abu	Tidak ditemukan	μ -FTIR	Cai dkk., 2017
Bahia, Argentina	Endapan atmosfer	35 hingga 113 partikel	serat, fragmen film	biru muda, kuning, merah, hitam, biru, hitam	PEVA, PET,PS,PP	μ -Raman	Villafañe et al. (2023).

BAB III

METODE PENELITIAN

3.1 Waktu dan Lokasi Penelitian

Penelitian ini dilakukan di Kampus Terpadu Universitas Islam Indonesia (UII) dan kawasan perkotaan Yogyakarta, yaitu Ringroad Utara, Ringroad Barat, Tugu, dan Malioboro. Lokasi-lokasi ini dipilih karena memiliki tingkat aktivitas kendaraan dan mobilitas manusia yang tinggi, yang berpotensi menjadi sumber utama mikroplastik di atmosfer yang kemudian terdeposisi melalui hujan (Akhbarizadeh et al., 2021).



Gambar 3.1 Lokasi Sampling Penelitian

Pada Gambar 3.1 Pengambilan sampel dilakukan selama dua hari, pada tanggal 15 dan 16 Maret 2025, di enam titik lokasi dengan total sepuluh botol sampel air hujan dan dua botol blanko sebagai kontrol kontaminasi. Pemilihan titik dilakukan secara strategis untuk merepresentasikan variasi fungsi lahan, lalu lintas, dan kondisi lingkungan sekitar. (Liu et al., 2019). Lalu pada Tabel 3.1 gambaran lokasi penelitian dan keterangan yang menjelaskan keadaan setiap lokasi

Tabel 3.1 Gambaran Lokasi Penelitian

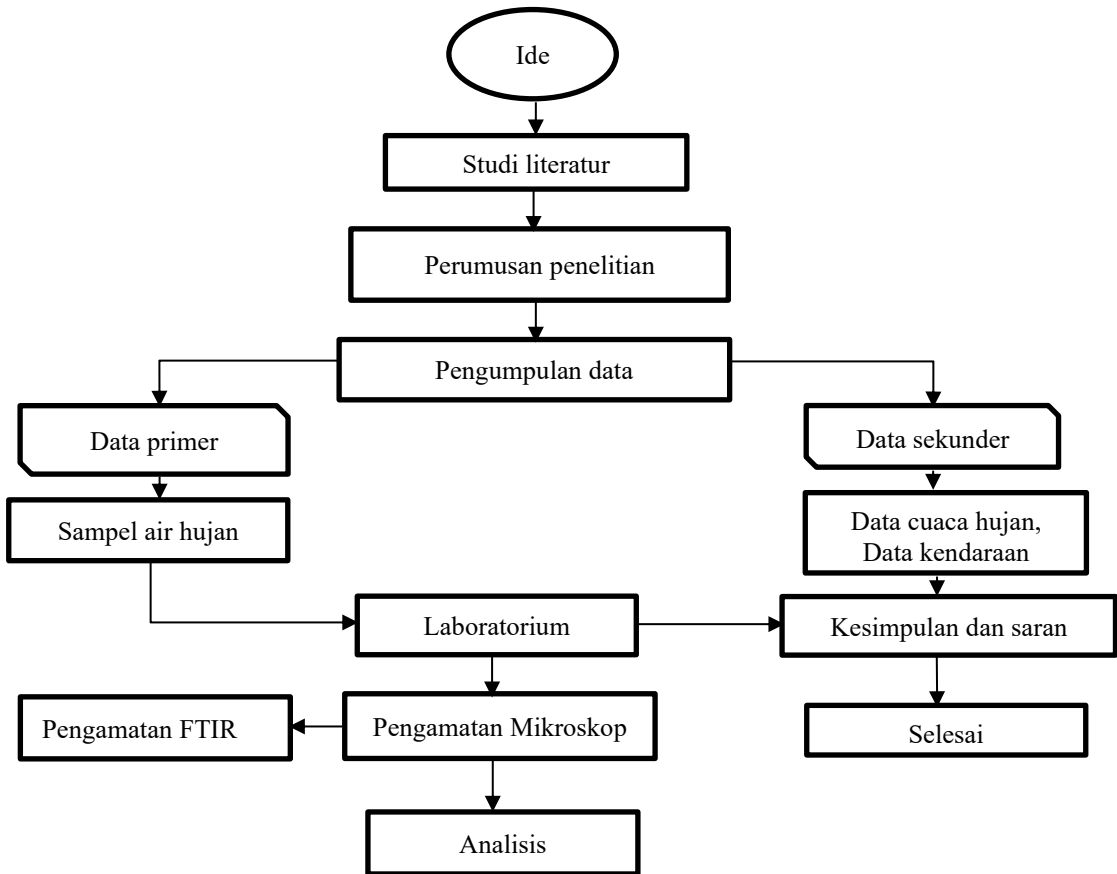
Titik	Lokasi Sampling	koordinat	Keterangan
1	Universitas Islam Indonesia (Pintu masuk utama)	7°41'15.0"S 110°25'04.6"E	Lokasi pengambilan sampel pertama berada di area pintu masuk Kampus Terpadu Universitas Islam Indonesia (UII). Lokasi ini dipilih karena membandingkan dengan kawasan perkotaan yang letaknya yang berdekatan langsung dengan jalan raya utama kaliurang menuju gunung merapi yang cukup padat dilalui oleh kendaraan bermotor, baik dari civitas akademika maupun masyarakat yang melintas. Pengambilan sampel air hujan dilakukan pada tanggal 16 Maret 2025, pengambilan sampel 1 kali pada awal hujan yang berlangsung pada pukul 18.10. hingga 18.40 WIB. Sampel dikumpulkan menggunakan botol kaca gelap steril untuk mencegah kontaminasi dan menjaga kualitas sampel selama proses pengumpulan.
2	Universitas Islam Indonesia (Area belakang)	7°41'14.7"S 110°24'44.0"E	Lokasi pengambilan sampel kedua berada di area belakang Kampus Terpadu Universitas Islam Indonesia (UII). Lokasi ini dipilih karena letaknya yang berada di sisi dalam kawasan kampus yang memiliki aktivitas kendaraan lebih rendah dibandingkan area utama. Pengambilan sampel air hujan dilakukan pada tanggal 16 Maret 2025, pengambilan sampel 1 kali pada awal hujan yang berlangsung pada pukul 18.10 hingga 18.40 WIB. Sampel dikumpulkan menggunakan botol kaca gelap steril untuk mencegah kontaminasi dan menjaga kualitas sampel selama proses pengumpulan.
3	Ringroad Utara	7°44'41.9"S 110°20'58.3"E	Lokasi pengambilan sampel ketiga berada di kawasan Ringroad Utara, Kota Yogyakarta. Lokasi ini dipilih karena merupakan area perkotaan dengan tingkat aktivitas tinggi, terutama disebabkan oleh adanya proyek pembangunan jalan tol yang sedang berlangsung di sekitar lokasi. Selain itu, jalan ini merupakan salah satu jalur utama yang padat dilalui oleh kendaraan bermotor terutama pada jam sibuk sore hari. Kondisi ini menjadikan kawasan ini potensial

Titik	Lokasi Sampling	koordinat	Keterangan
			sebagai sumber emisi partikel, termasuk mikroplastik yang terbawa oleh air hujan. Pengambilan sampel air hujan dilakukan dengan 2 kali pengambilan yaitu 15 menit di awal hujan dan 15 menit lagi selama , pada tanggal 15 Maret 2025, selama periode hujan yang berlangsung pada pukul 17.57 hingga 18.27 WIB. Sampel dikumpulkan menggunakan botol kaca gelap steril guna mencegah kontaminasi dan menjaga kualitas sampel selama proses pengumpulan.
4	Ringroad Barat	7°47'55.8"S 110°19'47.5"E	Lokasi pengambilan sampel keempat berada di kawasan Ringroad Barat, Kota Yogyakarta. Lokasi ini dipilih karena merupakan salah satu jalur utama dengan tingkat kepadatan lalu lintas yang tinggi, terutama pada jam-jam sibuk. Jalan ini dilalui oleh berbagai jenis kendaraan, baik kendaraan pribadi, transportasi umum, maupun kendaraan logistik, sehingga aktivitas lalu lintasnya cukup intens. Pengambilan sampel air hujan dilakukan pada tanggal 15 Maret 2025, selama periode hujan yang berlangsung pada pukul 18.53 hingga 19.23 WIB. Sampel dikumpulkan menggunakan botol kaca gelap steril guna mencegah kontaminasi dan menjaga kualitas sampel selama proses pengumpulan.
5	Tugu	7°46'58.8"S 110°22'08.8"E	Lokasi pengambilan sampel kelima berada di kawasan Tugu Yogyakarta, yang merupakan salah satu ikon kota dan pusat aktivitas masyarakat. Lokasi ini dipilih karena tingginya mobilitas masyarakat setempat dan pengunjung, terutama pada malam hari. Selain menjadi destinasi wisata, kawasan ini juga merupakan simpul pertemuan beberapa jalur utama lalu lintas, sehingga padat dilalui oleh kendaraan bermotor. Kondisi tersebut menjadikan kawasan Tugu sebagai area dengan potensi signifikan terhadap akumulasi polutan atmosferik, termasuk mikroplastik yang dapat terbawa turun melalui hujan.

Titik	Lokasi Sampling	koordinat	Keterangan
			Pengambilan sampel air hujan dilakukan pada tanggal 15 Maret 2025, selama periode hujan yang berlangsung pada pukul 20.09 hingga 20.39 WIB. Sampel dikumpulkan menggunakan botol kaca gelap steril guna mencegah kontaminasi dan menjaga kualitas sampel selama proses pengumpulan.
6	Malioboro	7°47'56.9"S 110°21'58.0"E	Lokasi pengambilan sampel keenam berada di kawasan Malioboro, tepatnya di dekat Pasar Beringharjo, Yogyakarta. Lokasi ini dipilih karena merupakan salah satu ikon wisata kota Yogyakarta yang selalu ramai dikunjungi oleh wisatawan maupun masyarakat lokal. Pada malam hari, terutama menjelang waktu tutup kawasan wisata, aktivitas pengunjung yang hendak meninggalkan area meningkat dan menyebabkan kepadatan lalu lintas di sekitar lokasi. Pengambilan sampel air hujan dilakukan pada tanggal 15 Maret 2025, selama periode hujan yang berlangsung pada pukul 21.25 hingga 21.55 WIB. Sampel dikumpulkan menggunakan botol kaca gelap steril guna mencegah kontaminasi dan menjaga keakuratan hasil analisis.

3.2 Tahapan Penelitian

Penelitian ini mempunyai tahapan - tahapan yang sesuai dengan kerangka berfikir. Tahapan tahapan dalam pembuatan penelitian ini dapat dilihat pada Gambar 3.2.



Gambar 3.2 Tahapan Penelitian

3.3 Metode Penelitian

Dalam Penelitian ini dilakukannya melalui beberapa tahapan penyusunan metode yaitu:°

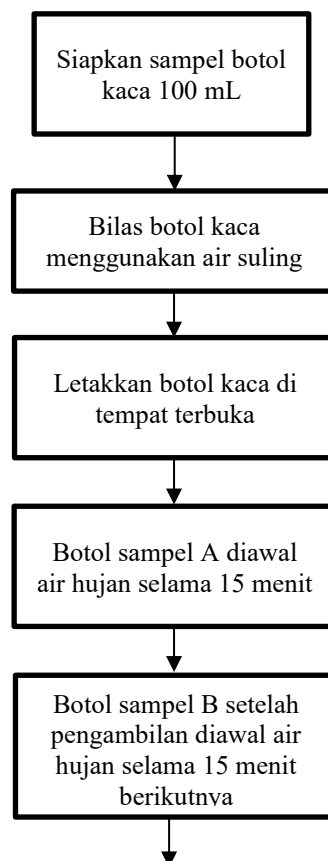
3.3.1 Pengambilan Sampel

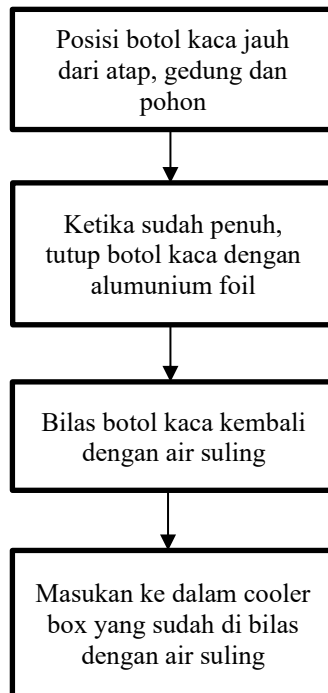
Sampel air hujan dikumpulkan menggunakan botol kaca gelap untuk mencegah kontaminasi dan degradasi mikroplastik akibat paparan sinar matahari dan di tutup menggunakan aluminium foil. Gambar botol kaca gelap ukuran 100 ml (Utami et al.,2021) dapat dilihat pada Gambar 3.3.



Gambar 3.3 Botol Kaca Gelap

Pengambilan sampel dilakukan di beberapa lokasi yang telah ditentukan, yaitu Kampus Terpadu Universitas Islam Indonesia serta kawasan perkotaan (Ringroad Barat, Ringroad Utara, Tugu, dan Malioboro, Daerah Istimewa Yogyakarta). Setelah pengambilan, sampel disimpan dalam kondisi yang sesuai sebelum dilakukan analisis lebih lanjut. Langkah-langkah pengambilan sampel di lokasi dapat di lihat pada Gambar 3.4.





Gambar 3.4 Tahapan Sampling

Penempatan secara terbuka penting untuk menghindari kontaminasi sekunder dari permukaan seperti daun, dahan, atap, atau dinding gedung. (Villafañe et al., 2023).

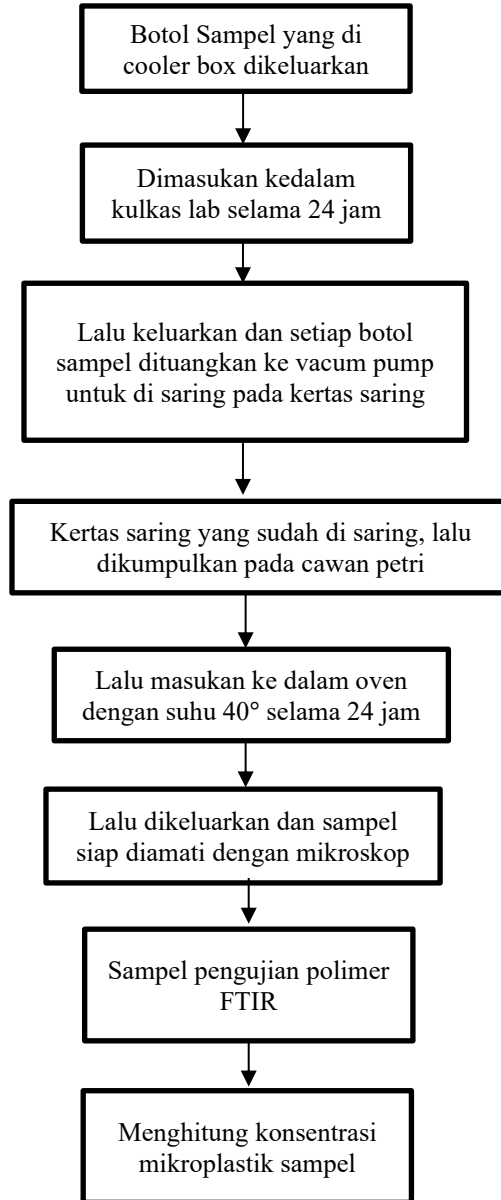


Gambar 3.5 Pengambilan air hujan

3.3.2 Pengujian Laboratorium

Setelah Pengambilan sampel maka sampel yang sudah didapatkan di teliti dalam Laboratorium. Langkah-langkap dalam pengujian laboratorium dapat dilihat pada diagram alir Gambar 3.6.

a. Diagram Alir



Gambar 3.6 Tahapan Pengujian Labolatorium

b. Alat dan Bahan

Alat dan bahan yang diperlukan selama pelaksanaan penelitian ini dapat dilihat seperti pada Tabel 3.2.

Tabel 3.2 Alat dan Bahan sampel

	Alat	Bahan
Pengambilan sampel di lapangan	<ul style="list-style-type: none"> • Botol Kaca • Coolbox 	<ul style="list-style-type: none"> • Air suling yang telah di saring (Blanko) • Alumunium Foil
Proses analisis di Laboratorium	<ul style="list-style-type: none"> • FTIR • Mikroskop • Erlenmeyer 100 ml • Oven • Cawan Petri • Corong kaca • Pinset • Vacuum pump 	<ul style="list-style-type: none"> • Kertas saring Whatman • Air suling

3.4 Identifikasi Mikroskop

Identifikasi mikroplastik dalam penelitian ini dilakukan secara visual menggunakan mikroskop digital. Mikroskop digital merupakan inovasi modern dari mikroskop optik konvensional yang menggunakan sistem optik dan kamera digital untuk menampilkan gambar secara langsung pada layar monitor melalui dukungan perangkat lunak komputer, Perangkat ini dapat dioperasikan sepenuhnya atau sebagian secara digital, tergantung pada tingkat otomatisasi yang dimiliki. Penggunaan mikroskop digital memungkinkan analisis citra yang lebih terperinci, seperti mengukur panjang, luas area, serta melakukan kuantifikasi pada struktur mikroskopis, termasuk dalam analisis histologis (Pratiwi, 2020).

Metode ini bertujuan untuk mengamati karakteristik fisik partikel mikroplastik yang telah dipisahkan dari sampel air hujan. Setelah proses penyaringan dan pengeringan, partikel yang tertinggal di atas kertas saring diamati secara teliti dengan pembesaran mikroskop untuk mengidentifikasi bentuk, warna, dan ukuran. Kriteria visual yang digunakan dalam identifikasi antara lain: bentuk partikel yang tidak teratur atau menyerupai serat, warna mencolok atau homogen, permukaan halus atau mengkilap, serta tidak adanya struktur sel atau jaringan biologis. Berdasarkan pengamatan tersebut, partikel diklasifikasikan menjadi beberapa

kategori bentuk, seperti fragmen, serat (fiber), dan film. Meskipun metode mikroskopi tidak dapat menentukan jenis polimer mikroplastik secara kimiawi, metode ini tetap digunakan secara luas sebagai tahap awal yang efektif dalam analisis mikroplastik karena hemat biaya, mudah dilakukan, dan mampu memberikan gambaran mengenai keberadaan serta karakteristik morfologi partikel plastik dalam sampel lingkungan. Teknik ini merujuk pada pendekatan visual yang telah digunakan dalam berbagai studi terdahulu, seperti yang dijelaskan oleh (Hidalgo-Ruz et al. 2012).

3.5 Identifikasi Spektrofotometri FT-IR

Mikroplastik yang telah dikarakterisasi kemudian dianalisis menggunakan mikroskop Fourier Transform Infrared Spectroscopy (FTIR) untuk mengetahui jenis polimernya. Fourier Transform Infrared (FTIR) adalah teknik analisis yang digunakan untuk mendapatkan spektrum inframerah dari sampel dalam bentuk padat, cair, atau gas melalui absorbansi, emisi, fotokonduktivitas, atau Raman Scattering (Pratiwi, 2020).

Spektroskopi FTIR berkaitan dengan pengukuran sinar inframerah (IR) yang diserap oleh sampel mikroplastik. Ini memungkinkan untuk mempelajari komposisi molekul. Spektrum inframerah mewakili sidik jari sampel (mikroplastik) dan memiliki puncak serapan yang sesuai dengan frekuensi getaran antara ikatan atom penyusun material. Ini karena semua bahan polimer lainnya adalah kombinasi atom yang unik dan kedua senyawa tersebut tidak menghasilkan spektrum inframerah yang persis sama. Oleh karena itu, struktur kimia molekul polimer dapat dilihat pada Tabel 3.3. yang ditentukan dengan menggunakan instrumen FTIR (Veerasingam et al., 2020).

Tabel 3.3 Senyawa Polimer

No	Polimer	Bilangan Gelombang (cm ⁻¹)	Gugus Fungsi
1	High Density Polyethylene (HDPE)	2915 1845 1472 14662 739 717	C-H stretching C-H stretching CH ₂ bending CH ₂ bending CH ₂ rocking CH ₂ rocking

No	Polimer	Bilangan Gelombang (cm ⁻¹)	Gugus Fungsi
2	Low Density Polyethylene (LDPE)	2915 2845 1467 1462 1377 730 717	C-H stretching C-H stretching CH2 bending CH2 bending CH2 rocking CH2 rocking
3	Polyethylene Terephthalate (PET)	1713 1241 1094 720	C=O stretching C-O stretching C-O stretching Aromatic CH out-of-plane bending
4	Polypropylene (PP)	2950 2915 2838 1455 1377 1166 997 972 840 808	C-H stretching C-H stretching C-H stretching CH2 bending CH2 bending CH2 bending, CH3 rocking, C-C stretching CH3 rocking, CH3 bending, CH bending CH3 rocking, C - C stretching CH2 rocking, C - CH3 stretching CH2 rocking, C - C stretching, C - CH stretching
5	Polystyrene (PS)	3024 2847 1601 1492 1451 1027 694 537	Aromatic C - H Stretching C -H stretching Aromatic ring Stretching Aromatic ring stretching CH2 bending Aromatic CH bending Aromatic CH out -of-plane bending Aromatic ring out -of-plane bending
6	Polycarbonate (PC)	2966 1768 1503 1409 1364 1186 1158 1013 828	CH stretching C=O stretching Aromatic ring Stretching Aromatic ring Stretching Stretching CH3 bending C -O stretching C -O stretching Aromatic CH inplane bending Aromatic CH out-of-plane bending
7	Polytetrafluorethylene (PTFE)	1201 1147 638	CF2 stretching CF2 stretching C-C-F bending

No	Polimer	Bilangan Gelombang (cm ⁻¹)	Gugus Fungsi
		554	CF2 stretching
		509	CF2 stretching
8	Nylon (all polyamides)	3298	N-H stretching
		2932	CH stretching
		2858	CH stretching
		1634	C=O stretching
		1538	NH bending, C-N stretching
		1464	stretching
		1372	CH2 bending
		1274	CH2 bending
		1199	NH bending, C-N stretching
		687	stretching
			Stretching
			CH2 bending NH bending, C=O bending

Sumber: Veerasingam dkk. (2021)

3.6 Pengumpulan data

Pengumpulan data dalam penelitian ini dirancang secara sistematis untuk memperoleh dua kategori (1) data primer mengenai konsentrasi dan karakteristik mikroplastik secara langsung dari sampel air hujan, dan (2) data sekunder kontekstual yang menjelaskan kondisi lingkungan saat pengambilan sampel, seperti kepadatan lalu lintas dan parameter meteorologi.

3.6.1 Data Primer

Data primer adalah data inti penelitian yang diperoleh melalui pengambilan sampel lapangan secara langsung. Proses ini melibatkan pengumpulan sampel air hujan di beberapa lokasi penelitian yang telah ditentukan. Lokasi non perkotaan (Kampus Terpadu Universitas Islam Indonesia) dan kawasan perkotaan dengan lalu lintas padat (kawasan Ringroad Barat, Ringroad Utara, Tugu, dan Malioboro).

Pengambilan sampel dilakukan menggunakan botol kaca berwarna gelap untuk mencegah fotodegradasi material organik atau polutan lain sebelum analisis. Sampel air hujan yang terkumpul inilah yang menjadi sumber data primer. Selanjutnya, sampel ini akan diproses di laboratorium dan dianalisis menggunakan dua metode utama: identifikasi visual (menggunakan mikroskop) untuk menentukan konsentrasi, (bentuk, warna), dan ukuran partikel, serta analisis spektroskopi (menggunakan Fourier Transform Infrared

Spectroscopy - FTIR) untuk mengonfirmasi dan mengidentifikasi komposisi polimer dari partikel yang terduga mikroplastik.

3.6.2 Data Sekunder

Data sekunder dikumpulkan untuk menyediakan variabel penjelas (explanatory variables) yang memengaruhi temuan data primer. Data ini berfokus pada dua faktor utama yang diduga kuat berkontribusi pada keberadaan mikroplastik di atmosfer dan air hujan yakni kepadatan lalu lintas dan kondisi cuaca.

a. Data Kepadatan Lalu Lintas

Kepadatan lalu lintas diyakini berperan penting terhadap jumlah dan konsentrasi mikroplastik, terutama di lingkungan perkotaan. Kendaraan bermotor di jalan padat merupakan sumber emisi partikel non-knalpot (non-exhaust emissions) yang signifikan, terutama melalui abrasi ban dan keausan sistem rem. Partikel-partikel ini dapat terlepas ke udara dan kemudian tercuci oleh air hujan. Untuk mengkuantifikasi faktor ini, data volume lalu lintas di sekitar lokasi pengambilan sampel diperoleh menggunakan aplikasi traffic counter (penghitung lalu lintas), dengan merujuk pada metodologi yang telah divalidasi oleh penelitian sebelumnya (Utami et al., 2021).

b. Data Meteorologi dan Kondisi Cuaca

Data meteorologi sangat krusial untuk menganalisis peran faktor-faktor cuaca dalam proses mobilisasi, transportasi, akumulasi, dan deposisi basah mikroplastik dari atmosfer ke permukaan tanah. Informasi rinci yang dikumpulkan mencakup parameter relevan seperti intensitas curah hujan (mm/jam), arah dan kecepatan angin (m/s), kelembaban, dan suhu udara pada saat kejadian hujan (rain event). Untuk memastikan akurasi, data ini dikumpulkan melalui teknik cross-referencing (validasi silang) dari beberapa platform meteorologi terverifikasi. Sumber utama yang digunakan adalah data observasi dari BMKG (Badan Meteorologi, Klimatologi, dan Geofisika) sebagai otoritas data cuaca nasional. Data ini kemudian dilengkapi dan divalidasi dengan data real-time dan arsip

dari platform pemetaan cuaca interaktif seperti Windy.com (yang mengagregasi model global terkemuka seperti ECMWF dan GFS) serta RainViewer (yang menyediakan data radar presipitasi untuk melacak pergerakan awan hujan). Pemilihan berbagai sumber ini didasarkan pada keandalan, kelengkapan parameter, ketepatan waktu (real-time), dan kredibilitasnya, sehingga data yang digunakan mampu merepresentasikan kondisi atmosfer secara akurat dan memperkuat validitas hasil penelitian.

3.7 Analisis dan Pembahasan

Dalam penelitian ini, analisis mikroplastik pada air hujan dilakukan berdasarkan konsentrasi, karakteristik fisik, dan jenis polimer. Konsentrasi dianalisis dari jumlah partikel mikroplastik dalam sampel air hujan untuk melihat distribusi mikroplastik di area dengan tingkat aktivitas manusia yang berbeda. Faktor lingkungan seperti lalu lintas, aktivitas industri, dan pola cuaca dipertimbangkan sebagai faktor yang mempengaruhi. Karakteristik mikroplastik yang diamati meliputi bentuk (serat, fragmen, dan film) serta warna. Identifikasi jenis polimer dilakukan menggunakan FTIR untuk menentukan komposisi kimia, seperti polyethylene (PE), polypropylene (PP), dan polyethylene terephthalate (PET).

3.7.1 Perhitungan Konsentrasi Mikroplastik

hasil pengamatan menggunakan mikroskop akan dianalisis secara deskriptif. Analisis data pada sampel air menggunakan mikroskop, dengan menghitung kuantitas serta konsentrasi partikel mikroplastik per 10 ml sampel akan di peroleh hasil analisis. Untuk konsentrasi mikroplastik parameter yang diambil adalah partikel per liter (Horton et al. 2017). konsentrasi mikroplastik dihitung dengan membagi jumlah partikel mikroplastik pada masing-masing sampel dengan total volume air saat sampling. Berikut adalah rumus perhitungan konsentrasi mikroplastik pada satu sampel :

$$C = \frac{n}{v}$$

Dimana :

C : Konsentrasi Mikroplastik (partikel/liter)

n : Jumlah Partikel Mikroplastik per Sampel

V : Total Volume Air saat Sampling

3.7.2 Perbandingan dengan Data Mikroplastik Air Hujan

Hasil penelitian ini akan dibandingkan dengan studi sebelumnya yang telah mengidentifikasi keberadaan mikroplastik dalam air hujan di Yogyakarta. Misalnya, penelitian oleh (Utami et al. 2023) Dahlan melaporkan kandungan mikroplastik tertinggi sebesar 393 partikel/L di kawasan Monumen Tugu Yogyakarta. Perbandingan ini akan membantu dalam memahami tren temporal dan spasial konsentrasi mikroplastik, serta mengidentifikasi faktor-faktor yang mungkin berkontribusi terhadap perbedaan tersebut.

3.7.3 Perbandingan Data Mikroplastik Udara Ambien dan Debu Jalan

bahwa mikroplastik ditemukan dalam udara ambien dan road dust (Hanifah 2023) dan mikroplastik di udara pada polutan total suspended mikroplastik pada debu jalanan ringroad Yogyakarta (Farah 2024). Data tersebut mendukung dari penelitian ini.

BAB IV

HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Identifikasi Karakteristik dan jumlah Mikroplastik

Mikroplastik merupakan polutan yang tidak hanya ditemukan di perairan, tetapi juga telah terdeteksi secara luas di atmosfer dan presipitasi, termasuk air hujan. Salah satu sumber utama yang berkontribusi signifikan terhadap mikroplastik atmosferik berasal dari aktivitas transportasi, terutama dari partikel yang dihasilkan oleh keausan ban kendaraan bermotor. Gesekan kontinu antara ban dan permukaan jalan menyebabkan partikel mikroplastik terlepas dan tersebar di udara, yang kemudian dapat terbawa oleh angin dan mengalami deposisi basah melalui hujan (Verschoor et al., 2016). Proses ini menjadikan air hujan sebagai media potensial dan vektor penting dalam memindahkan mikroplastik dari atmosfer ke lingkungan permukaan.

Dalam penelitian ini, sampel air hujan dikumpulkan dari beberapa titik lokasi yang telah ditentukan. Lokasi-lokasi tersebut dipilih secara strategis untuk mewakili area dengan karakteristik aktivitas manusia kawasan non perkotaan hingga kawasan perkotaan yang padat aktivitas lalu lintas dan komersial. Setiap sampel air hujan yang terkumpul kemudian diproses di laboratorium dan dianalisis menggunakan mikroskop (dengan perbesaran 4x dan 10x), mengikuti pendekatan metodologis yang telah dikembangkan dalam penelitian sebelumnya mengenai mikroplastik dalam lingkungan atmosferik (Akhbarizadeh et al., 2021).

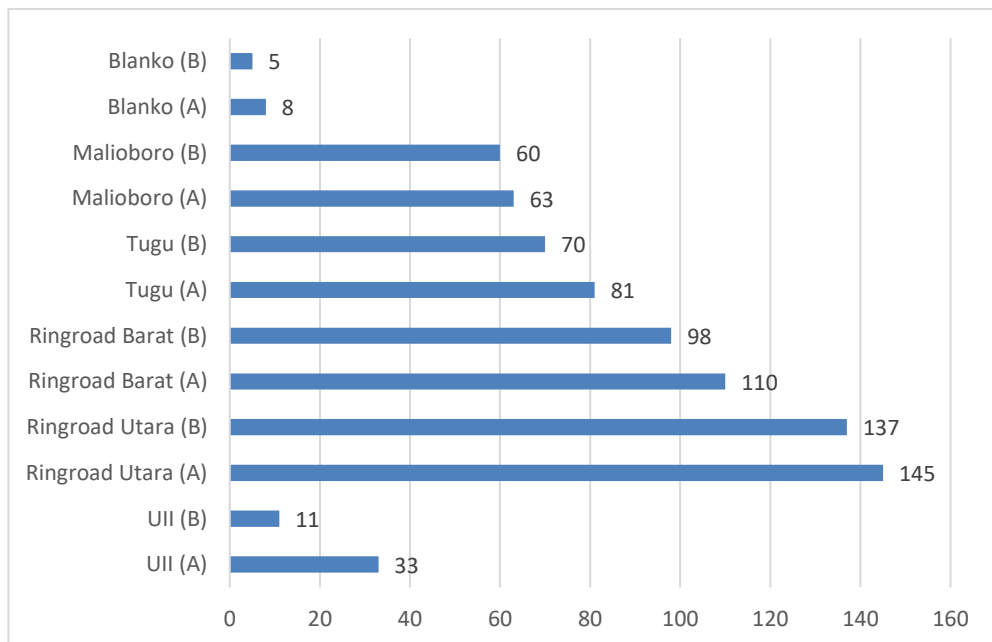
Hasil pengamatan awal menunjukkan bahwa partikel terduga mikroplastik ditemukan di enam titik lokasi penelitian, baik di area kampus maupun di kawasan pusat kota. Temuan ini mengonfirmasi bahwa polusi mikroplastik tidak hanya menjadi masalah di ekosistem perairan, tetapi juga merupakan bagian integral dari siklus atmosfer dan hidrologi di lingkungan. Partikel-partikel yang teridentifikasi menunjukkan adanya keragaman karakteristik fisik, baik dari segi bentuk maupun warna, yang mengindikasikan kemungkinan adanya berbagai sumber pencemar.

Temuan ini menggaris bawahi peran penting hujan sebagai mekanisme "pencucian" atmosfer yang mendistribusikan kontaminan ini ke permukaan tanah dan badan air, khususnya di wilayah dengan tingkat aktivitas yang tinggi. Analisis

lebih rinci mengenai konsentrasi, distribusi bentuk, dan proporsi warna partikel akan dibahas secara mendalam pada sub-bab berikutnya.

4.1.1 Identifikasi Konsentrasi Mikroplastik

Identifikasi kuantitatif jumlah partikel dilakukan terhadap seluruh sampel air hujan yang diperoleh dari enam titik lokasi penelitian dan dua sampel kontrol (blanko). Data konsentrasi ini disajikan dalam dua format komplementer: (1) perbandingan jumlah total partikel yang teridentifikasi secara visual per sampel Gambar 4.1, dan (2) konsentrasi partikel yang telah dinormalisasi berdasarkan volume sampel, yang disajikan dalam satuan partikel/mL (Tabel 4.1).



Gambar 4.1 Klasifikasi Mps Berdasarkan Jumlah

Tabel 4.1 Konsentrasi Mps

Titik Sampel	Konsentrasi (Partikel/mL)
UII (Depan)	0,33
UII (Belakang)	0,11
Ringroad Utara (A)	1,45
Ringroad Utara (B)	1,37
Ringroad Barat (A)	1,10

Titik Sampel	Konsentrasi (Partikel/mL)
Ringroad Barat (B)	0,98
Tugu (B)	0,70
Tugu (A)	0,81
Malioboro (A)	0,63
Malioboro (B)	0,60
Blanko 1	0,08
Blanko 2	0,05

Distribusi partikel secara rinci di setiap lokasi dan interval waktu bahwa "Sampel A" mewakili air hujan yang dikumpulkan pada 15 menit pertama kejadian hujan (dikenal sebagai first flush atau pencucian pertama), sedangkan "Sampel B" mewakili 15 menit berikutnya (menit ke 15-30).

Temuan utama dari kedua visualisasi data tersebut menunjukkan adanya variasi spasial yang sangat signifikan dalam konsentrasi mikroplastik di seluruh lokasi penelitian. Lokasi Ringroad Utara (Sampel A) secara konsisten menunjukkan konsentrasi absolut tertinggi, dengan temuan 145 partikel, yang setara dengan konsentrasi 1,45 partikel/mL (Tabel 4.1). Sebaliknya, data kontrol (Blanko 1 dan Blanko 2) menunjukkan jumlah dan konsentrasi partikel yang sangat minimal, dengan nilai terendah tercatat pada Blanko 2 (5 partikel; 0,05 partikel/mL). Nilai yang sangat rendah pada sampel blanko ini sangat krusial. Ini berfungsi sebagai kontrol kualitas negatif yang menegaskan bahwa tidak terjadi kontaminasi silang yang signifikan selama proses pengumpulan di lapangan, transportasi sampel, maupun selama proses identifikasi di laboratorium (Cowger et al., 2020). Oleh karena itu, hasil ini memperkuat validitas dan keandalan data konsentrasi yang diperoleh dari seluruh lokasi penelitian.

Perbedaan konsentrasi yang drastis antar lokasi penelitian secara jelas menunjukkan korelasi kuat antara konsentrasi mikroplastik di air hujan dengan tingkat aktivitas antropogenik di daratan, terutama kepadatan lalu lintas (Tian et al., 2017).

1. Lokasi Konsentrasi Tertinggi (Ringroad Utara dan Barat) Konsentrasi tertinggi di Ringroad Utara (1,45 partikel/mL) dapat didistribusikan pada sumber ganda (dual source). Pertama, kawasan ini merupakan jalan arteri

utama dengan volume lalu lintas kendaraan berat dan ringan yang konstan dan padat, yang berkontribusi pada pelepasan partikel abrasi ban (TWP) secara kontinu (Kole et al., 2017). Kedua, pada saat pengambilan sampel, sedang berlangsung proyek konstruksi jalan tol berskala besar di median jalan. Aktivitas konstruksi ini diduga melepaskan sejumlah besar debu dan fragmen material (termasuk plastik) serta fiber ke atmosfer, yang kemudian tercuci oleh air hujan. Ringroad Barat (1,10 partikel/mL) menempati urutan kedua. Jalur ini merupakan koridor logistik vital yang menghubungkan area utara menuju bandara dan terminal kargo. Akibatnya, intensitas kendaraan berat (truk dan bus) lebih dominan. Pergerakan kendaraan bermuatan besar ini diduga meningkatkan laju abrasi permukaan jalan dan ban, sehingga melepaskan lebih banyak partikel mikroplastik dibandingkan lalu lintas kendaraan pribadi.

2. Kawasan Tugu (0,81 partikel/mL) dan Malioboro (0,63 partikel/mL) menunjukkan konsentrasi yang lebih rendah dibandingkan koridor Ringroad. Lalu lintas di Tugu bersifat 'stop-and-go' dengan kecepatan rendah, sehingga laju abrasi ban tidak se-agresif di jalan arteri berkecepatan tinggi. Temuan di Malioboro (0,63 partikel/mL) Pengambilan sampel dilakukan pada pukul 21.25 WIB, dalam rentang waktu ketika jalan utama ditutup untuk semua kendaraan bermotor (pukul 18.00 - 22.00 WIB). Namun, titik sampling tidak berada di jalan utama, melainkan di dekat area parkir pasar bringharjo. Partikel yang terdeteksi diasumsikan tidak berasal dari emisi langsung di jalan utama Malioboro yang steril, melainkan terbawa oleh angin (tertransportasi) dari jalan raya lain di sekitar kawasan yang tetap padat (Dris et al., 2016). Fakta bahwa konsentrasi masih terdeteksi signifikan di area yang lalu lintasnya ditutup ini memperkuat hipotesis bahwa partikel mikroplastik di atmosfer bersifat mobile dan dapat menyebar melalui angin.
3. Lokasi Konsentrasi Terendah (Kawasan Kampus UII) Sesuai dugaan, konsentrasi terendah di antara semua lokasi penelitian ditemukan di kawasan Kampus Terpadu UII, khususnya UII (Belakang) dengan nilai hanya 0,11 partikel/mL. Kawasan ini berfungsi sebagai baseline non

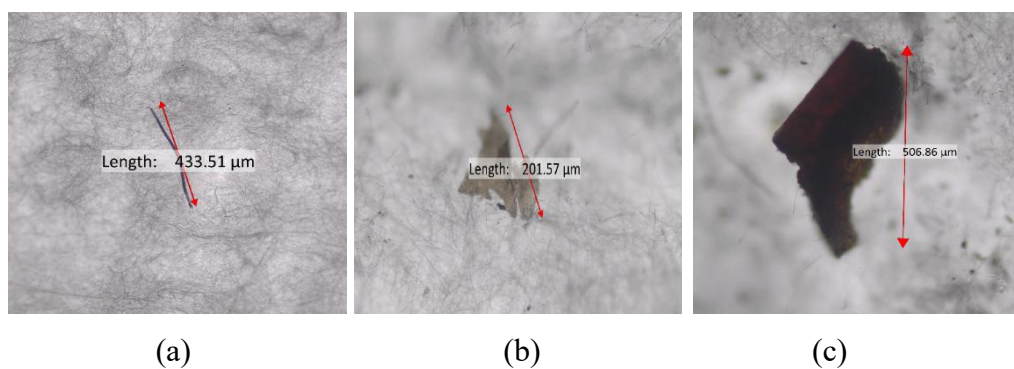
perkotaan dalam penelitian ini. Faktor utamanya adalah lalu lintas yang ringan, sedikitnya aktivitas dan yang terpenting, dominasi ruang terbuka hijau (RTH). Kehadiran vegetasi yang tinggi di lingkungan kampus diduga kuat turut membantu menurunkan konsentrasi partikel di atmosfer, karena vegetasi dapat bertindak sebagai bio-filter yang menjebak partikel-partikel tersebut sebelum terlarut ke dalam air hujan (Scheller et al., 2020).

Secara kolektif, temuan ini menunjukkan bahwa kepadatan lalu lintas kendaraan merupakan faktor pendorong utama yang mengontrol distribusi dan konsentrasi mikroplastik dalam air hujan di lokasi studi.

4.1.2 Identifikasi Mikroplastik Berdasarkan Bentuk

Berdasarkan identifikasi visual menggunakan mikroskop (perbesaran 4x), partikel mikroplastik yang ditemukan dalam sampel air hujan berhasil diklasifikasikan ke dalam tiga bentuk morfologi utama: fragmen, film, dan serat (fiber).

Ketiga jenis ini memiliki karakteristik yang berbeda dan menunjukkan korelasi kuat dengan sumber-sumber antropogenik di sekitar lokasi pengambilan sampel, terutama yang berkaitan dengan lalu lintas jalan raya, aktivitas komersial, dan kepadatan permukiman. Contoh visual dari ketiga bentuk yang teridentifikasi dalam penelitian ini disajikan pada Gambar 4.2.

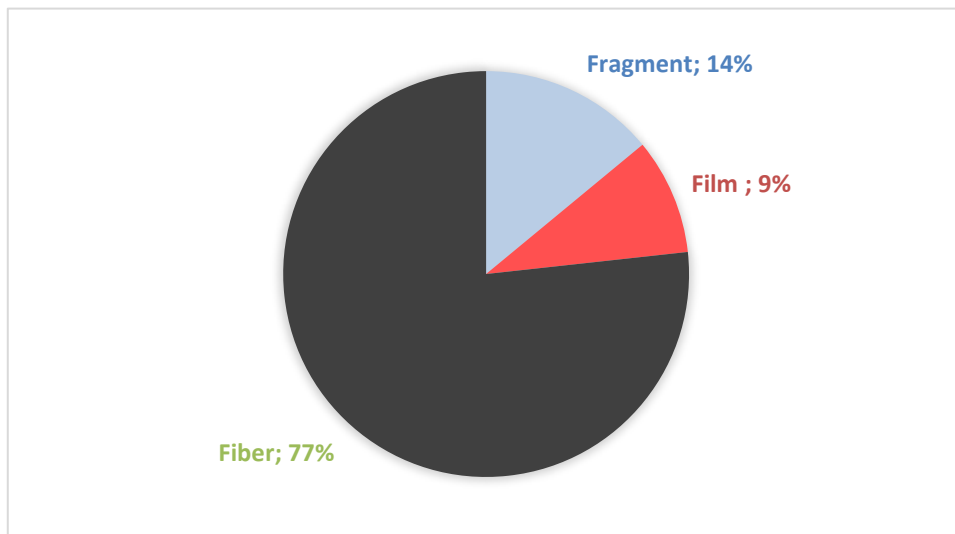


Gambar 4.2 Bentuk Mps (a) Fiber (b) Film dan (c) Fragment

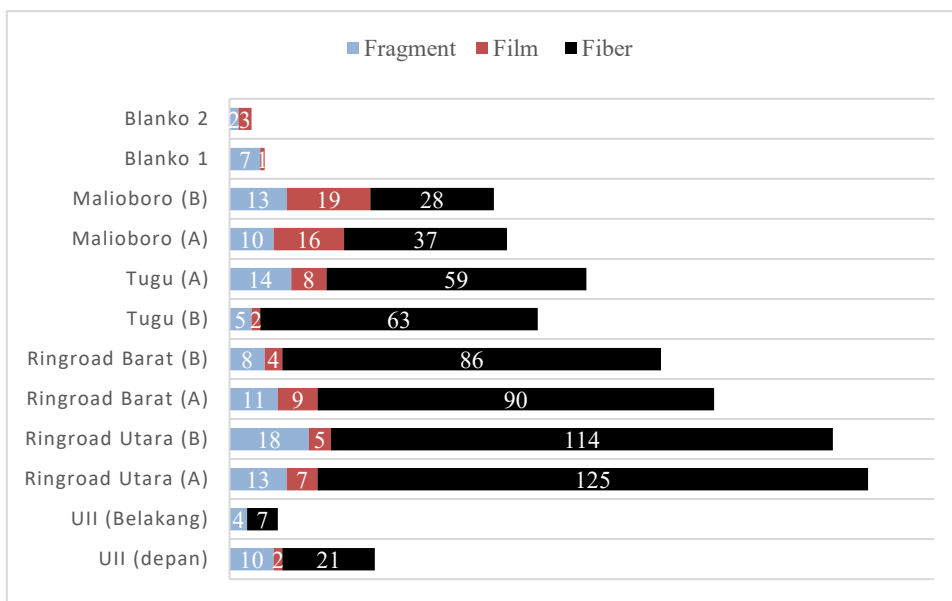
Setelah teridentifikasi jenis mikroplastik Identifikasi morfologi partikel dilakukan untuk memahami sumber dan karakteristik mikroplastik yang

terdeposisi. Gambaran akumulasi total dari seluruh lokasi penelitian disajikan pada Gambar 4.3 (diagram lingkaran). Hasil ini menunjukkan bahwa serat (fiber) secara meyakinkan mendominasi temuan, mencakup 77% dari total partikel yang teridentifikasi. Bentuk fragmen menyusul di urutan kedua dengan 14%, diikuti oleh film sebesar 9%.

Dominasi fiber ini konsisten dengan berbagai studi deposisi atmosferik, yang mengidentifikasi abrasi ban dan pelepasan serat tekstil sintetis sebagai sumber utama polusi mikroplastik di udara (Kole et al., 2017).



Gambar 4.4 Persentase Bentuk Mps dari keseluruhan lokasi sampling



Gambar 4.3 Klasifikasi Jumlah Mps berdasarkan bentuk

Distribusi partikel secara rinci di setiap lokasi dan interval waktu disajikan pada Gambar 4.4. Perlu dicatat bahwa "Sampel A" mewakili air hujan yang dikumpulkan pada 15 menit pertama kejadian hujan (dikenal sebagai *first flush* atau pencucian pertama), sedangkan "Sampel B" mewakili 15 menit berikutnya (menit ke 15-30).

1. Lokasi Dominasi Fiber Tertinggi (Ringroad Utara & Barat) Analisis bentuk pada Gambar 4.3 menunjukkan bahwa dominasi fiber paling ekstrem terjadi di lokasi dengan lalu lintas terpadat. Ringroad Utara mencatat jumlah fiber absolut tertinggi (125 partikel pada sampel A dan 114 partikel pada sampel B). Lokasi ini merupakan arteri utama yang padat kendaraan, dan pada saat penelitian juga sedang berlangsung proyek konstruksi jalan tol. Kombinasi antara abrasi ban berkecepatan tinggi (Kole et al., 2017) dan debu konstruksi (Sommer et al., 2018) diduga kuat menjadi pendorong utama pelepasan fiber ke atmosfer. Pola serupa terlihat di Ringroad Barat (90 dan 86 partikel fiber). Sebagai jalur logistik utama menuju bandara dan terminal, tingginya volume kendaraan berat (truk dan bus) di lokasi ini berkontribusi signifikan terhadap emisi partikel abrasi ban.
2. Lokasi Sumber Campuran (Tugu & Malioboro) Menariknya, di lokasi Tugu Yogyakarta dan Malioboro, proporsi bentuk partikel terlihat lebih seimbang. Meskipun fiber masih mendominasi (misalnya, 59 partikel di Tugu A dan 37 di Malioboro A), jumlah film dan fragmen secara proporsional lebih signifikan dibandingkan di Ringroad. Hal ini menunjukkan adanya sumber campuran (*mixed sources*). Selain emisi lalu lintas (Dris et al., 2016), tingginya aktivitas wisata dan komersial di area ini kemungkinan berkontribusi pada pelepasan fragmen dan film dari degradasi sampah kemasan plastik (O'Brien et al., 2023) dan kantong plastik sekali pakai (Ayuningtyas, 2019).
3. Lokasi Konsentrasi Terendah (Kawasan Kampus UII) Sebaliknya, lokasi dengan jumlah mikroplastik paling rendah berada di lingkungan Kampus Terpadu UII. Lokasi ini, yang berfungsi sebagai baseline semi-perkotaan, memiliki lalu lintas rendah dan minim aktivitas berat. Yang terpenting, kawasan ini memiliki vegetasi yang luas dan ruang terbuka hijau. Vegetasi

ini diduga berperan penting sebagai bio-filter, yang secara aktif menangkap partikel di udara (termasuk mikroplastik) sebelum sempat terdeposisi bersama air hujan (Scheller et al., 2020).

Secara keseluruhan, data morfologi ini memperkuat kesimpulan bahwa fiber adalah bentuk mikroplastik atmosferik yang paling dominan. Konsentrasinya paling tinggi di area padat kendaraan, menegaskan bahwa abrasi ban dan aktivitas lalu lintas adalah kontributor utama polusi mikroplastik dalam air hujan di wilayah studi.

4.1.3 Identifikasi Mikroplastik Berdasarkan Warna

Untuk Selain identifikasi berdasarkan bentuk, analisis karakteristik visual mikroplastik dalam air hujan dilanjutkan dengan klasifikasi warna. Pengamatan ini dilakukan secara teliti menggunakan mikroskop cahaya pada perbesaran 4x untuk mendokumentasikan setiap partikel yang teridentifikasi.

Warna merupakan salah satu parameter kunci dalam pelacakan sumber (source tracking) polusi mikroplastik, karena kelompok warna tertentu seringkali memiliki korelasi kuat dengan sumber-sumber antropogenik spesifik. Sebagai contoh, partikel berwarna hitam pekat atau abu-abu gelap sangat erat kaitannya dengan emisi lalu lintas, terutama abrasi ban kendaraan (Tire Wear Particles - TWPs). Sementara itu, partikel berwarna cerah seperti biru, merah, dan ungu umumnya diasosiasikan dengan pelepasan serat tekstil sintetis dari pakaian. Demikian pula, warna transparan atau putih susu seringkali merujuk pada degradasi plastik kemasan komoditas, seperti kantong plastik (Polyethylene) atau wadah (Polypropylene).

Oleh karena itu, identifikasi distribusi warna dalam penelitian ini tidak hanya berfungsi sebagai data deskriptif, tetapi juga sebagai alat pendukung untuk mengestimasi profil sumber pencemar di setiap lokasi. Dominasi partikel hitam akan memperkuat dugaan kontribusi lalu lintas, sementara dominasi partikel biru akan mengindikasikan kontribusi dari serat tekstil. Distribusi dan proporsi variasi warna yang teridentifikasi di seluruh titik lokasi penelitian,

yang digunakan untuk mendukung analisis kualitas lingkungan, disajikan secara rinci pada Gambar 4.5.



(a)



(b)



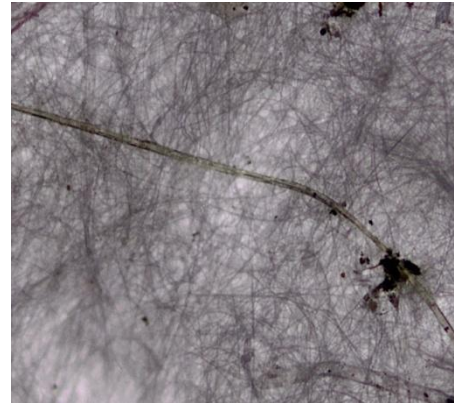
(c)



(d)



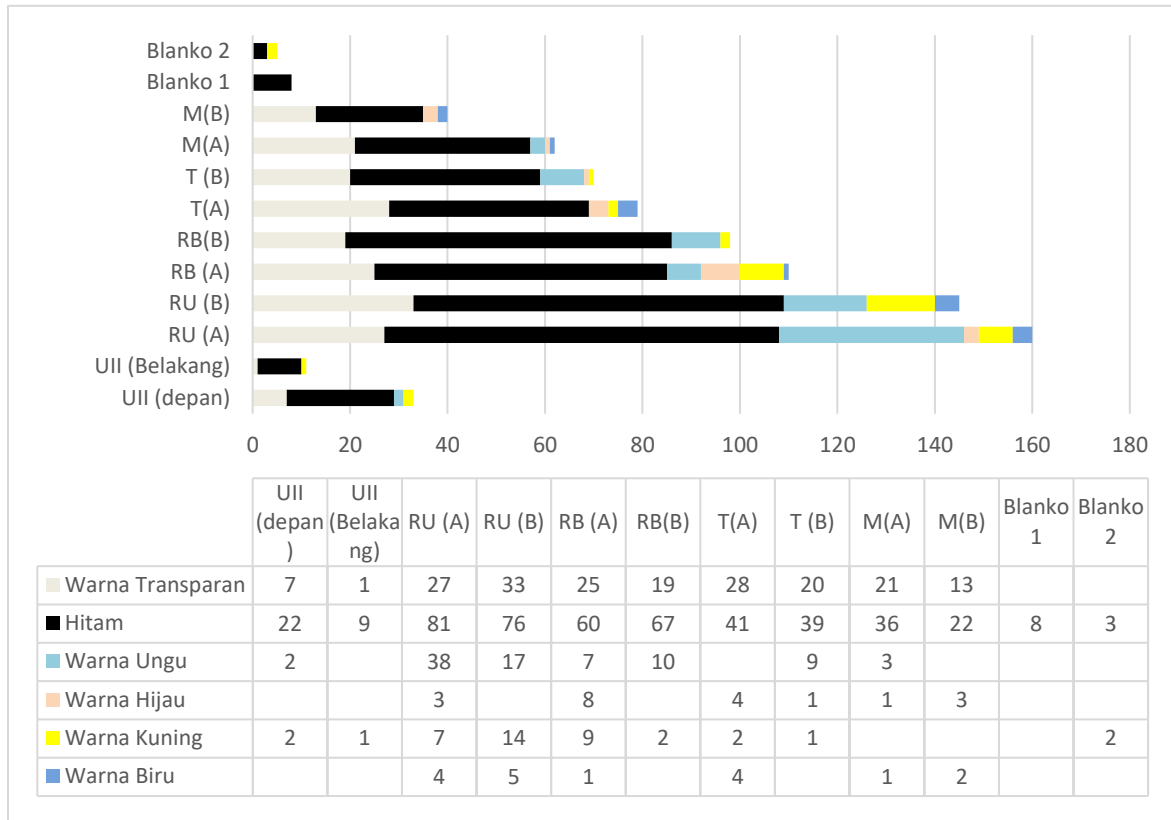
(e)



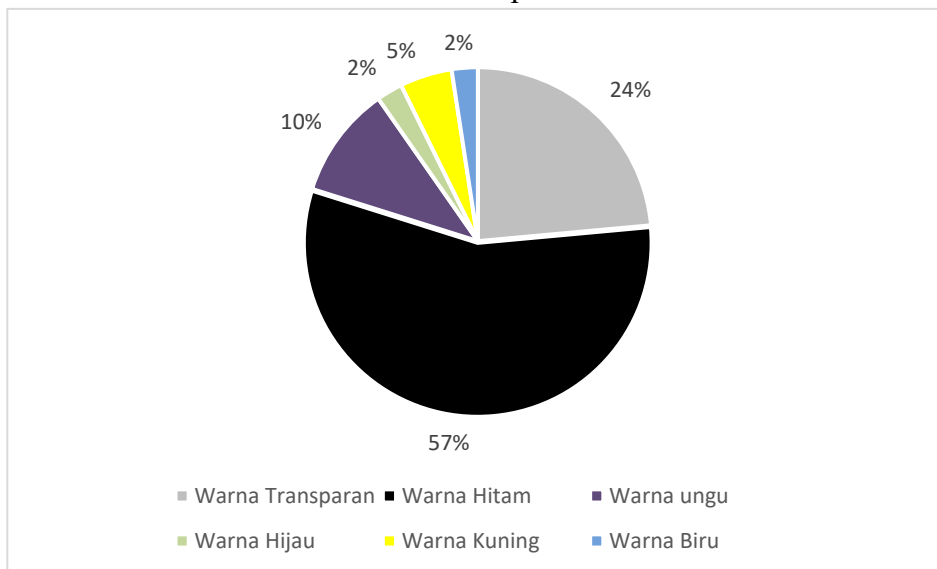
(f)

Gambar 4.5 Warna Mps yang ditemukan pada sampel uji (a) Hitam (b) Transparan (c) biru (d) kuning (e) ungu (f) hijau

Berikut merupakan hasil identifikasi warna mikroplastik yang ditemukan dari sampel air hujan. Identifikasi warna partikel mikroplastik disajikan dalam rangkuman persentase total dari seluruh sampel (disajikan pada Gambar 4.7) dan distribusi di setiap lokasi penelitian (disajikan pada Gambar 4.6)



Gambar 4.7 Klasifikasi Mps berdasarkan warna



Gambar 4.6 Persentase Warna Mps dari keseluruhan lokasi sampling

Seperti yang diilustrasikan secara jelas pada Gambar 4.7 (diagram lingkaran), temuan utama dari identifikasi warna adalah dominasi absolut dari partikel berwarna hitam. Warna ini mencakup 57,7% (total 486 partikel) dari keseluruhan mikroplastik yang teridentifikasi. Warna transparan menempati urutan kedua dengan 23,0% (194 partikel), yang menunjukkan kontribusi signifikan dari sumber lain. Diikuti oleh warna-warna pigmen lainnya seperti ungu (10,2%), kuning (4,7%), hijau (2,4%), dan biru (2,0%).

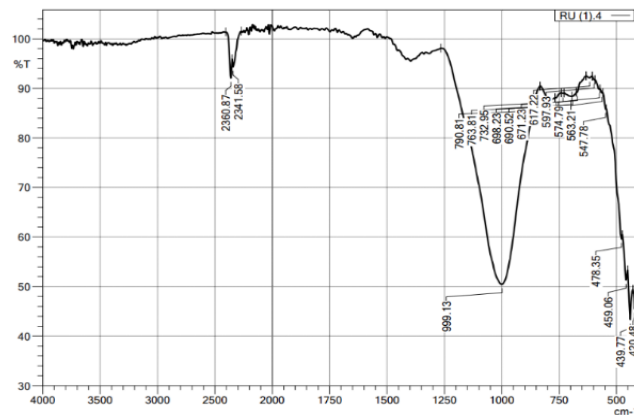
1. **Dominasi Partikel Hitam (Korelasi Lalu Lintas)** Dominasi partikel hitam (57,7%) secara langsung didukung oleh data diagram. Terlihat jelas bahwa jumlah partikel hitam terkonsentrasi secara masif di lokasi-lokasi dengan lalu lintas terpadat. Lokasi Ringroad Utara (Sampel A) mencatat jumlah partikel hitam tertinggi (81 partikel), diikuti oleh Ringroad Barat (Sampel A) (60 partikel). Temuan ini memberikan indikasi terkuat dalam penelitian ini bahwa abrasi ban kendaraan (Tire Wear Particles), keausan sistem rem, dan degradasi aspal adalah sumber emisi utama di koridor jalan raya tersebut (Kole et al., 2017; Sommer et al., 2018). Sebagai kontras, lokasi semi-perkotaan UII (Belakang) hanya mencatat 9 partikel hitam, memperkuat korelasi antara lalu lintas dan partikel hitam.
2. **Distribusi Partikel Transparan (Korelasi Kemasan)** Partikel transparan (23,0%) menunjukkan pola distribusi yang berbeda. Partikel ini ditemukan dalam jumlah yang relatif signifikan di semua lokasi, termasuk area lalu lintas padat (misalnya, 27 partikel di RU (A)) maupun area komersial-pejalan kaki (misalnya, 28 di Tugu (A) dan 21 di Malioboro (A)). Pola yang tersebar luas ini mengindikasikan sumber yang lebih difus (tersebar) dan umum, yang sangat terkait dengan fragmentasi dan degradasi plastik kemasan tipis, seperti kantong Polyethylene (PE) atau pembungkus produk sekali pakai (Cai et al., 2017).
3. **Distribusi Pigmen Warna (Korelasi Tekstil dan Limbah Domestik)** Warna-warna pigmen lainnya (ungu, kuning, hijau, biru) juga memberikan petunjuk penting. Warna ungu, yang merupakan warna non-hitam paling dominan (10,2%), menunjukkan konsentrasi yang sangat tinggi secara spesifik di Ringroad Utara (A) (38 partikel). Warna-warna cerah ini, terutama ungu dan

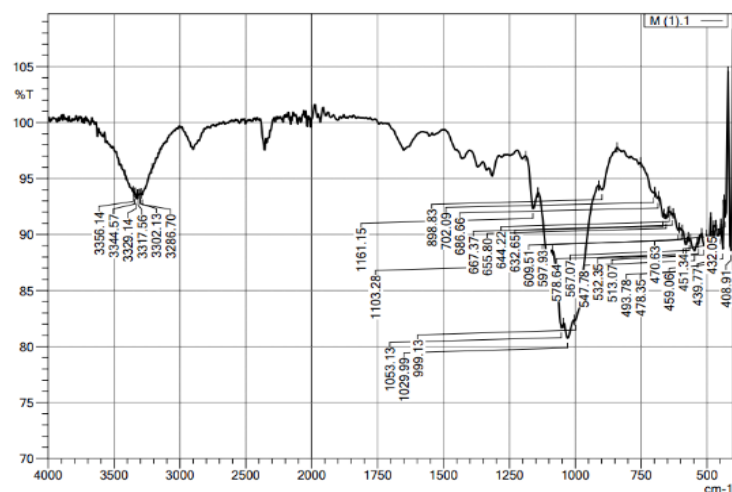
biru, cenderung berasal dari serat tekstil sintetis (misalnya, poliester dari pakaian) atau fragmen plastik konsumen berwarna yang terdegradasi (Liu et al., 2019; Akhbarizadeh et al., 2021). Tingginya temuan warna ungu di Ringroad Utara mungkin juga terkait dengan debu konstruksi atau cat yang digunakan dalam proyek infrastruktur di lokasi tersebut.

Secara keseluruhan, ragam warna ini menegaskan bahwa sumber mikroplastik di atmosfer perkotaan tidaklah tunggal, melainkan berasal dari sumber campuran (mixed sources): (1) emisi terkait transportasi (dominasi hitam), (2) limbah kemasan (dominasi transparan), dan (3) limbah domestik/tekstil (pigmen berwarna). Dominasi warna gelap (hitam) juga mengindikasikan adanya potensi risiko tambahan, karena partikel berwarna gelap diketahui memiliki kemampuan lebih tinggi untuk menyerap polutan organik sekunder di permukaannya (Brahney et al., 2020).

4.2 Identifikasi mikroplastik dengan Spektrofotometri FT-IR

Analisis mikroplastik dalam penelitian ini dirancang melalui dua pendekatan komplementer: (1) identifikasi visual-morfologis menggunakan mikroskop, dan (2) validasi kimiawi menggunakan spektroskopi Fourier Transform Infrared (FTIR) untuk mengonfirmasi komposisi polimer. Tahap pertama, pengamatan mikroskopis (seperti yang dibahas pada 4.1.2 dan 4.1.3), berhasil mengidentifikasi dan mengkuantifikasi keberadaan partikel terduga mikroplastik. Partikel-partikel ini berhasil diklasifikasikan berdasarkan karakteristik fisik yang jelas, seperti bentuk (fragmen, serat, dan film) dan variasi warna (transparan, hitam, ungu, biru, hijau, dan kuning), sesuai dengan kriteria identifikasi visual standar (Löder & Gerdts, 2015). Tahap kedua bertujuan untuk mengonfirmasi identitas kimiawi dari partikel-partikel representatif yang telah diidentifikasi secara visual tersebut.





Gambar 4.8 Spektrum FTIR Partikel Mikroplastik

Pada Hasil analisis spektroskopi FTIR terhadap partikel yang diuji tidak menunjukkan puncak serapan (absorption peaks) khas yang dapat diatribusikan kepada polimer plastik sintesis umum, seperti Polyethylene (PE), Polypropylene (PP), atau Polyethylene Terephthalate (PET).

Sebaliknya, spektrum yang diperoleh—seperti yang ditunjukkan pada spektrum representatif di Gambar 4.8 menampilkan profil serapan yang sangat identik dengan material selulosa. Puncak serapan lebar yang terdeteksi pada bilangan gelombang 3300-3400 cm^{-1} (mengindikasikan regangan O-H) serta serangkaian puncak kuat dan kompleks di wilayah sidik jari 1000-1100 cm^{-1} (regangan C-O), merupakan karakteristik spektral definitif dari selulosa (Cowger et al., 2021). (Adapun puncak tajam di sekitar 2341-2360 cm^{-1} merupakan artefak umum dari CO_2 atmosferik yang tidak terkait dengan sampel).

Temuan ini mengindikasikan bahwa sinyal inframerah yang ditangkap oleh detektor instrumen tidak berasal dari partikel mikroplastik target. Sinyal tersebut didominasi oleh interferensi substrat (substrate interference), yakni sinyal dari kertas saring (filter paper) berbahan dasar selulosa yang digunakan sebagai media filtrasi. Kondisi ini merupakan tantangan teknis yang umum dilaporkan dalam analisis mikroplastik. Sinyal dari partikel mikroplastik diduga menjadi terlalu lemah sehingga tertutupi (masked) oleh sinyal substrat selulosa yang jauh lebih kuat dan dominan (Imhof et al., 2016). Beberapa faktor metodologis diduga berkontribusi terhadap kegagalan deteksi polimer ini. Pertama, konsentrasi atau massa partikel yang berhasil diisolasi dan ditempatkan pada slide FTIR

kemungkinan terlalu rendah. Kedua, ukuran partikel yang dianalisis mungkin berada di bawah batas deteksi spasial atau resolusi efektif instrumen FTIR (Tian et al., 2021). Ketiga, degradasi permukaan partikel akibat pelapukan (weathering) di atmosfer, atau adanya lapisan biofilm dan kontaminan organik lain, dapat menghalangi dan mengganggu pembacaan spektrum polimer murni (Minténig et al., 2017).

Oleh karena itu, meskipun identitas polimer spesifik tidak dapat dikonfirmasi secara kimiawi dalam penelitian ini disebabkan oleh keterbatasan teknis signifikan dari metodologi FTIR yang diterapkan hal ini tidak mengurangi validitas temuan mikroskopis. Keberadaan, kelimpahan, dan karakteristik morfologi dari partikel terduga mikroplastik telah berhasil ditetapkan melalui pendekatan mikroskopis yang teliti dan sistematis. Pendekatan mikroskopis ini diakui secara luas dalam komunitas ilmiah sebagai metode standar, valid, dan fundamental untuk tujuan kuantifikasi dan karakterisasi morfologi (jumlah, bentuk, warna) dalam studi mikroplastik (Löder & Gerdts, 2015).

4.3 Keterkaitan Hasil Penelitian Mikroplastik Air Hujan

Hasil identifikasi kuantitatif dan morfologis yang telah dipaparkan pada sub-bab sebelumnya, Konsentrasi dan karakteristik mikroplastik yang ditemukan di setiap lokasi merupakan hasil dari interaksi kompleks antara sumber emisi di darat dan dinamika meteorologi di atmosfer. Sub-bab ini akan menyajikan pembahasan korelasi antara temuan konsentrasi mikroplastik (dari Tabel 4.1) dengan dua faktor lingkungan utama, yaitu faktor meteorologi dan faktor antropogenik.

Hasil penelitian ini menunjukkan bahwa faktor antropogenik (lalu lintas) adalah pendorong utama variasi spasial (perbedaan konsentrasi antar lokasi), sementara faktor meteorologi adalah pendorong utama mekanisme deposisi (alasan partikel jatuh bersama hujan) dan variasi temporal (efek "first flush").

4.3.1 Keterkaitan dengan kondisi Meteorologi

Data parameter cuaca sekunder, yang dikumpulkan dari berbagai aplikasi terverifikasi selama periode pengambilan sampel, disajikan pada Tabel 4.2.

Data ini krusial untuk memahami bagaimana partikel mikroplastik yang tersuspensi di atmosfer dapat terdeposisi ke permukaan.

Tabel 4.2 Parameter Cuaca Saat Pengambilan Sampel Air Hujan di Enam Lokasi Penelitian Yogyakarta

Lokasi	Aplikasi	Parameter				
		curah hujan (presipitasi) (mm/jam)	suhu udara (temperature) (°C)	tutupan awan (cloud cover) (%)	kelembapan udara (humidity) (%)	Arah Angin
UII (Depan)	Raiviewer	128,84	20	100	97	Barat
	The weather channel	136,93	21	99	94	Barat
	Google cuaca	131,07	22	98	93	Barat
	Windy	126,22	20	100	92	Barat
UII (Belakang)	Raiviewer	127,31	20	100	97	Barat
	The weather channel	136,65	21	97	98	Barat
	Google cuaca	130,81	22	98	95	Barat
	Windy	128,48	20	100	94	Barat
Ringroad Utara	Raiviewer	164,12	21	98	94	Barat
	The weather channel	163,88	20	98	90	Barat
	Google cuaca	164,73	22	97	97	Barat
	Windy	165,11	20	100	96	Barat
Ringroad Barat	Raiviewer	160,53	20	99	95	Barat
	The weather channel	158,96	21	98	91	Barat
	Google cuaca	161,82	20	99	96	Barat
	Windy	159,99	20	100	99	Barat
Tugu	Raiviewer	155,48	22	100	90	Barat
	The weather channel	148,39	22	100	94	Barat
	Google cuaca	152,65	21	96	96	Barat
	Windy	156,01	21	98	92	Barat
Malioboro	Raiviewer	149,67	22	98	92	Barat
	The weather channel	142,51	23	99	97	Barat
	Google cuaca	147,79	22	97	93	Barat
	Windy	148,29	21	100	95	Barat

Analisis mendalam terhadap data parameter cuaca sekunder, yang disajikan pada Tabel 4.2, mengungkapkan peran ganda dan krusial faktor meteorologi dalam menentukan konsentrasi mikroplastik yang terdeteksi dalam sampel air hujan (Tabel 4.1).

Berdasarkan data pada Tabel 4.2, terlihat bahwa kondisi atmosfer di keenam lokasi penelitian relatif seragam dalam hal kelembapan udara (91–98%) dan tutupan awan (97–100%). Kondisi jenuh uap air ini merupakan prasyarat fundamental untuk terjadinya presipitasi dan mekanisme deposisi basah (*wet deposition*). Arah angin yang konsisten dari Barat (Barat) juga mengindikasikan adanya transportasi atmosferik regional, yang membawa massa udara (dan polutan yang dikandungnya) dari arah yang sama ke seluruh lokasi studi (Allen et al., 2019).

Namun, analisis yang lebih mendalam menunjukkan adanya korelasi kuat antara konsentrasi mikroplastik (Tabel 4.1) dengan satu parameter meteorologi yakni intensitas curah hujan (presipitasi). Validasi data dari keempat aplikasi cuaca (Rainviewer, The weather channel, Google cuaca, dan Windy) pada Tabel 4.2 memberikan bukti yang kuat mengenai hal ini. Terdapat korelasi positif yang sangat jelas antara rata-rata intensitas curah hujan yang dilaporkan oleh keempat aplikasi tersebut dengan besaran konsentrasi mikroplastik yang ditemukan pada Tabel 4.1.

1. Analisis di Lokasi Konsentrasi Tertinggi Di lokasi Ringroad Utara (A), yang mencatat konsentrasi mikroplastik absolut tertinggi (1,45 partikel/mL), keempat aplikasi cuaca secara bersamaan juga melaporkan nilai intensitas curah hujan paling ekstrem di antara semua lokasi. Data intensitas hujan di titik ini berkisar antara 163,11 mm/jam (Windy) hingga 164,73 mm/jam (Google cuaca). Tingginya angka (di atas 160 mm/jam) secara konsisten dari empat sumber berbeda mengonfirmasi terjadinya hujan yang sangat lebat di lokasi tersebut.
2. Analisis di Lokasi Konsentrasi Terendah Sebaliknya, di lokasi UII (Belakang), yang mencatat konsentrasi terendah (0,11 partikel/mL), keempat aplikasi juga secara konsisten melaporkan intensitas curah hujan paling rendah dalam penelitian ini. Data intensitas hujan di titik ini berkisar

antara 127,31 mm/jam (Rainviewer) hingga 136,65 mm/jam (The weather channel).

3. Analisis Tren di Lokasi Lain Lokasi-lokasi lain mengisi tren korelasi ini secara linear. Ringroad Barat (A) (konsentrasi 1,10 partikel/mL) mencatat intensitas hujan yang juga sangat tinggi, berkisar antara 158,96 mm/jam hingga 161,82 mm/jam. Tugu (A) (konsentrasi 0,81 partikel/mL) mencatat intensitas di kisaran 148,39 mm/jam hingga 156,01 mm/jam. Malioboro (A) (konsentrasi 0,63 partikel/mL) mencatat kisaran yang sedikit lebih rendah lagi, sekitar 142,51 mm/jam hingga 149,67 mm/jam.

Korelasi ini bukanlah suatu kebetulan, melainkan menunjukkan peran kunci intensitas hujan dalam efisiensi pencucian atmosfer (atmospheric scavenging efficiency). Proses deposisi basah terjadi melalui dua mekanisme utama:

1. Pencucian Dalam Awan (In-cloud scavenging atau rainout): Di mana partikel mikroplastik bertindak sebagai inti kondensasi awan (Cloud Condensation Nuclei - CCN) dan "terjebak" di dalam tetesan air saat awan terbentuk.
2. Pencucian Bawah Awan (Below-cloud scavenging atau washout): Di mana tetesan air hujan yang jatuh secara fisik bertabrakan dan menangkap partikel yang tersuspensi di kolom udara di bawah awan.

Intensitas curah hujan yang lebih tinggi (mm/jam lebih besar) seringkali berkorelasi dengan diameter tetesan air hujan yang lebih besar dan kecepatan jatuh (terminal velocity) yang lebih tinggi. Tetesan yang lebih besar dan lebih cepat ini memiliki efisiensi tabrakan (collision efficiency) yang jauh lebih tinggi. Mereka mampu "menyapu" (sweep) kolom udara secara lebih agresif, sehingga lebih efektif dalam menangkap partikel (terutama serat dan fragmen) melalui mekanisme washout.

Oleh karena itu, konsentrasi tertinggi di Ringroad Utara dapat dijelaskan sebagai hasil dari kombinasi sinergis: (1) Sumber Emisi Lokal Maksimum (lalu lintas/konstruksi), dan (2) Efisiensi Deposisi Meteorologi Maksimum (hujan paling lebat, seperti yang dikonfirmasi oleh keempat aplikasi). Sebaliknya, UII (Belakang) mengalami kombinasi minimum: (1) Sumber emisi lokal terendah,

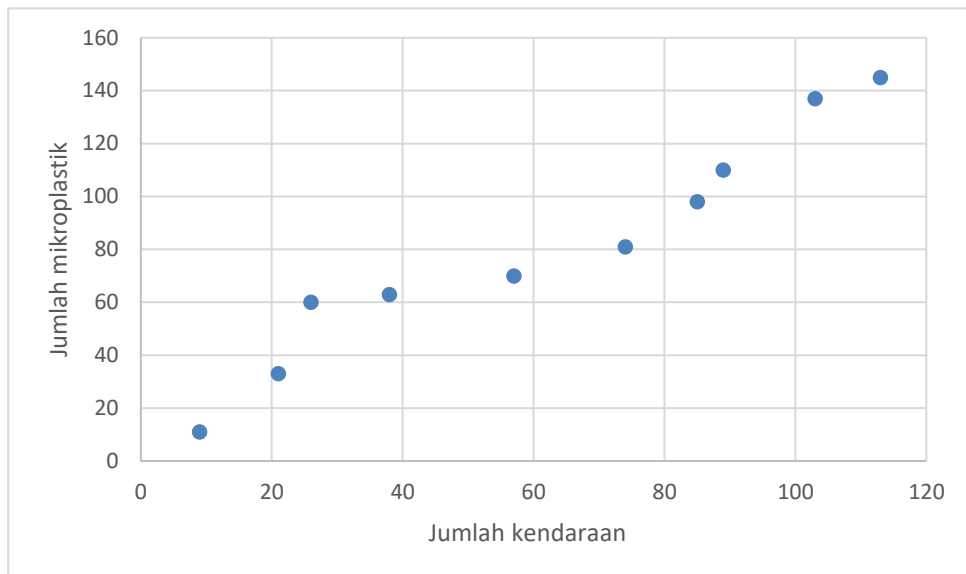
dan (2) Efisiensi deposisi meteorologi terendah (hujan tidak selebat di Ringroad).

4.3.2 Keterkaitan dengan Kepadatan Kendaraan

Kepadatan lalu lintas merupakan salah satu faktor utama yang memengaruhi jumlah dan konsentrasi mikroplastik dalam air hujan. Aktivitas kendaraan bermotor, terutama pada jalan dengan intensitas tinggi, dapat menghasilkan mikroplastik melalui proses abrasi ban, keausan kampas rem, serta degradasi komponen plastik kendaraan. Partikel-partikel mikroplastik pada Tabel 4.3 ini kemudian terangkat ke atmosfer oleh hembusan angin atau pergerakan kendaraan menggunakan *Traffic Counter*, dan berpotensi terbawa turun melalui presipitasi. Semakin padat lalu lintas di suatu kawasan, maka semakin besar pula kemungkinan pelepasan mikroplastik ke lingkungan udara, yang pada akhirnya meningkatkan jumlah mikroplastik yang terdeteksi dalam air hujan.

Tabel 4.3 Kepadatan Kendaraan bermotor

Titik Sampel	Jumlah Mikroplastik	Jumlah Kendaraan/menit
UII (depan)	33	21
UII (Belakang)	11	9
Ringroad Utara (A)	145	113
Ringroad Utara (B)	137	103
Ringroad Barat (A)	110	89
Ringroad Barat (B)	98	85
Tugu (A)	81	74
Tugu (B)	70	57
Malioboro (A)	63	38
Malioboro (B)	60	26



Gambar 4.9 Hubungan Jumlah Mikroplastik dan Kendaraan

Hasil yang disajikan pada Gambar 4.9 secara visual mengonfirmasi adanya korelasi positif yang sangat kuat antara jumlah kendaraan dan jumlah mikroplastik. Titik-titik data, meskipun tidak membentuk garis lurus sempurna, secara jelas menunjukkan tren linear yang jelas: semakin tinggi jumlah kendaraan per menit di suatu lokasi, semakin tinggi pula jumlah absolut partikel mikroplastik yang terdeposisi melalui air hujan. Analisis rinci pada Tabel 4.3 memperkuat temuan ini melalui perbandingan titik-titik ekstrem:

1. Lokasi Lalu Lintas Tinggi

Titik data di kuadran kanan atas diagram pencar adalah lokasi Ringroad Utara (A), yang mencatat 145 partikel dengan 113 kendaraan/menit. Ini diikuti oleh Ringroad Utara (B) (137 partikel; 103 kendaraan/menit) dan Ringroad Barat (A) (110 partikel; 89 kendaraan/menit). Lokasi-lokasi ini adalah koridor arteri utama berkecepatan tinggi yang padat lalu lintas, mengonfirmasi bahwa aktivitas kendaraan bermotor adalah sumber emisi dominan di area tersebut (Kole et al., 2017; Sommer et al., 2018).

2. Lokasi Lalu Lintas Rendah (Kontrol)

Sebagai antitesis (pembanding) yang sempurna, lokasi UII (Belakang) berada di kuadran kiri bawah diagram, yang berfungsi sebagai baseline semi-perkotaan. Lokasi ini hanya mencatat 11 partikel dengan lalu lintas minimal 9 kendaraan/menit. Perbedaan drastis ini adalah bukti terkuat

bahwa ketiadaan sumber emisi lokal (lalu lintas) adalah faktor penentu utama rendahnya konsentrasi.

3. Lokasi Moderat dan Kontekstual

Lokasi lain seperti Tugu dan Malioboro mengisi tren di bagian tengah. Data Malioboro (B) menarik untuk dianalisis meskipun jumlah kendaraan terukur sangat rendah (26 kendaraan/menit), jumlah partikelnya (60 partikel) relatif tinggi dibandingkan UII (depan) (33 partikel; 21 kendaraan). Seperti yang telah dibahas sebelumnya, pengambilan sampel di Malioboro dilakukan di dekat area parkir saat jalan utama ditutup. Hal ini menunjukkan bahwa partikel mikroplastik yang terdeteksi kemungkinan merupakan partikel yang sudah ada (legacy particles) yang terbawa angin (tertransportasi) dari jalan raya terdekat atau diemisikan oleh aktivitas kendaraan di kantong parkir (Dris et al., 2016).

4.4 Perbandingan Hasil Penelitian Mikroplastik Air Hujan

Untuk memvalidasi dan mengkontekstualisasikan temuan dari penelitian ini, dilakukan dua jenis perbandingan. Pertama, perbandingan lintas-media dilakukan untuk memahami bagaimana karakteristik mikroplastik (khususnya dari air hujan) berbeda dengan media lingkungan lain (udara ambien dan debu jalan) di lokasi yang identik. Kedua, perbandingan lintas-studi dilakukan dengan membandingkan temuan penelitian ini dengan studi air hujan sebelumnya di Yogyakarta untuk memvalidasi metodologi dan hasil.

4.4.1 Perbandingan dengan penelitian RingRoad Yogyakarta

Kawasan Ringroad Utara dan Ringroad Barat dipilih sebagai fokus perbandingan lintas-media karena merupakan koridor arteri utama dengan tekanan antropogenik terkuat di Yogyakarta. Karakteristik lokasi ini (lalu lintas padat, kendaraan berat, dan proyek konstruksi) berpotensi menjadi sumber emisi dominan ke berbagai kompartemen lingkungan.

Tabel 4.4 Perbandingan penelitian sebelumnya dikawasan RingRoad Utara

Lokasi	Penelitian	Jumlah Mikroplastik (partikel)	Warna Dominan	Bentuk Dominan	Sumber
Ringroad Utara	Air Hujan (Peneliti)	282	Hitam (52%)	Fiber (84%)	Abrasi ban, Industri tekstil

Lokasi	Penelitian	Jumlah Mikroplastik (partikel)	Warna Dominan	Bentuk Dominan	Sumber
Ringroad Utara	Udara Ambien (Hanifah 2023)	1379	Hitam (48%)	Film (42%)	Abrasi ban, aktivitas penduduk
Ringroad Utara	Debu Jalan (Farah 2024)	12.608	Hitam (70%)	Fragment (91%)	lalu lintas padat, aktivitas penduduk

Tabel 4.5 Perbandingan penelitian sebelumnya dikawasan RingRoad Barat

Lokasi	Penelitian	Jumlah Mikroplastik (partikel)	Warna Dominan	Bentuk Dominan	Sumber
Ringroad Barat	Air Hujan (Peniliti)	208	Hitam 63%	Fiber (84%)	Abrasi ban, Industri tekstil
Ringroad Barat	Udara Ambien (Hanifah 2023)	724	Hitam (43%)	Fragment (49%)	Abrasi ban, aktivitas penduduk
Ringroad Barat	Debu Jalan (Farah 2024)	12.519	Hitam (83%)	Fragment (90%)	lalu lintas padat, aktivitas penduduk

Tabel 4.4. Perbandingan Lintas-Media Karakteristik Mikroplastik di Ringroad Utara. Tabel 4.5. Perbandingan Lintas-Media Karakteristik Mikroplastik di Ringroad Barat.

1. Analisis Warna Dominan dan Indikasi Sumber

Analisis pada Tabel 4.4 dan 4.5 menunjukkan satu kesamaan yang paling mencolok dominasi warna hitam di semua penelitian dan di semua media. Di Ringroad Utara, warna hitam dominan pada Air Hujan (52%), Udara Ambien (48%), dan Debu Jalan (70%). Demikian pula di Ringroad Barat, polanya identik dengan dominasi warna hitam pada Air Hujan (63%), Udara Ambien (43%), dan Debu Jalan (83%). Konsistensi temuan ini merupakan bukti kuat yang memvalidasi hipotesis sumber. Dominasi partikel hitam secara universal di ketiga kompartemen lingkungan ini memperkuat dugaan bahwa emisi terkait lalu lintas terutama abrasi ban kendaraan (TWPs), partikel aspal, dan keausan rem adalah kontributor utama dan paling persisten di koridor jalan raya tersebut (Kole et al., 2017; Verschoor et al., 2016)

2. Analisis Perbedaan Jumlah

Meskipun sumbernya (warna) sama, ketiga media ini menunjukkan perbedaan drastis dalam hal jumlah partikel dan bentuk dominan. Dari Segi Jumlah (Akumulasi) Terdapat perbedaan besaran (order of magnitude) yang jelas Debu Jalan (12.000+ partikel) >> Udara Ambien (~700-1400 partikel) > Air Hujan (~200-300 partikel). Perbedaan ini sangat logis secara ilmiah. Debu jalan berfungsi sebagai reservoir atau sink akumulatif, di mana partikel berat mengendap dan terakumulasi dari waktu ke waktu (Farah, 2024). Sebaliknya, udara ambien dan air hujan adalah jalur transportasi yang bersifat dinamis. Jumlah yang terdeteksi di media ini mencerminkan apa yang sedang "bergerak" di atmosfer pada saat pengambilan sampel, bukan akumulasi total.

3. Analisis Perbedaan Bentuk

Dari Segi Bentuk Ini adalah temuan yang paling signifikan. Terdapat partisi morfologi bentuk yang jelas antar media, yang didorong oleh sifat fisik partikel (berat, densitas, dan aerodinamika), Debu Jalan (Farah, 2024) didominasi secara absolut oleh Fragmen (90-91%). Fragmen (terutama dari ban dan aspal) bersifat lebih berat, padat, dan tidak aerodinamis. Akibatnya, partikel ini cenderung mengalami deposisi gravitasi cepat, mengendap, dan terperangkap di matriks debu jalan (Kole et al., 2017). Air Hujan didominasi secara absolut oleh Fiber (84%). Fiber memiliki rasio luas permukaan terhadap volume yang tinggi, densitas rendah, dan sangat aerodinamis. Sifat ini memungkinkannya untuk tersuspensi di atmosfer dalam waktu tinggal (residence time) yang lama. Karena berada di kolom udara, fiber sangat rentan terhadap pencucian atmosfer (deposisi basah) dan jatuh bersama tetesan air hujan (Dris et al., 2016; Akhbarizadeh et al., 2021). Udara Ambien (Hanifah, 2023) menunjukkan profil campuran (Film 42% di Utara, Fragment 49% di Barat). Ini mencerminkan sifat udara ambien sebagai media transpor yang dinamis, yang mengandung partikel-partikel yang baru saja terangkat dari jalan (fragmen/film) dan partikel yang telah tersuspensi lama (fiber).

Secara keseluruhan, perbandingan lintas-media ini menunjukkan bahwa meskipun sumber polusi (abrasi ban) sama, nasib dan jalur transportasi partikel mikroplastik di lingkungan sangat ditentukan oleh karakteristiknya.

4.4.2 Perbandingan dengan penelitian Air Hujan di Yogyakarta

Selain perbandingan lintas-media, temuan penelitian ini juga dibandingkan dengan studi oleh Utami et al. (2023), yang juga meneliti mikroplastik dalam air hujan di kawasan perkotaan Yogyakarta. Perbandingan ini bertujuan untuk memvalidasi metodologi dan konsistensi temuan pada kompartemen lingkungan yang sama.

Tabel 4.6 Perbandingan penelitian sebelumnya dikawasan RingRoad Barat

Lokasi	Penelitian	Jumlah Mikroplastik (partikel)	Warna Dominan	Bentuk Dominan	Sumber
Yogyakarta	Air Hujan (Penelitian ini)	821	Hitam (58%)	Fiber (72%)	Abrasi ban, Industri Tekstil
Yogyakarta	Air Hujan (Utami 2022)	267	Hitam (46%)	Fiber (48%)	Abrasi ban, Industri Tekstil

Berdasarkan Tabel 4.6, terlihat konsistensi hasil yang kuat antara penelitian ini dan studi Utami et al. (2023).

1. Kesamaan Temuan Kedua penelitian secara independen menyimpulkan bahwa karakteristik mikroplastik air hujan di Yogyakarta adalah Bentuk Dominan Fiber (Penelitian ini 72%; Utami et al. 48%); Warna Dominan Hitam (Penelitian ini 58%; Utami et al. 46%). Kesamaan pada dua parameter kunci ini memberikan validasi yang kuat terhadap temuan penelitian ini. Hal ini mengonfirmasi bahwa secara umum, deposisi atmosferik di Yogyakarta memang didominasi oleh partikel-partikel yang terkait erat dengan abrasi ban (hitam) dan serat tekstil (fiber), yang merupakan cerminan dari aktivitas perkotaan dan lalu lintas padat.
2. Perbedaan Temuan (Jumlah) Penelitian ini mencatat jumlah total partikel yang lebih tinggi (821 partikel) dibandingkan studi Utami et al. (267 partikel). Perbedaan ini kemungkinan besar bukan merupakan kontradiksi, melainkan refleksi dari perbedaan cakupan lokasi sampling. Penelitian ini

secara spesifik memasukkan lokasi-lokasi dengan sumber emisi ekstrem, seperti Ringroad Utara yang sedang dalam proses konstruksi jalan tol. Tingginya konsentrasi di lokasi tersebut (seperti yang dibahas pada 4.1.1) berkontribusi signifikan terhadap jumlah total partikel yang lebih tinggi.

Secara keseluruhan, kesamaan temuan dengan studi Utami et al. (2023) memperkuat bahwa air hujan di Yogyakarta telah terkontaminasi mikroplastik, dan bahwa emisi dari lalu lintas (abrasi ban) merupakan kontributor utama.

BAB V

PENUTUP

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil olah data yang telah dilakukan, maka dapat ditarik kesimpulan sebagai berikut :

1. Seluruh sampel air hujan yang dianalisis dalam penelitian ini mengandung partikel mikroplastik, dengan jumlah total sebanyak 821 partikel/100 mL dari 10 sampel utama. Temuan ini menunjukkan bahwa mikroplastik telah tersebar di atmosfer dan dapat terbawa ke permukaan tanah melalui air hujan.
2. Bentuk mikroplastik yang dominan adalah fiber, yaitu sebanyak 630 partikel atau sekitar 76,72% dari total keseluruhan, disusul oleh fragment sebanyak 137 partikel dan film sebanyak 54 partikel. Warna mikroplastik yang dominan adalah hitam, yang teridentifikasi di hampir seluruh titik lokasi pengambilan sampel. Warna ini diduga berasal dari abrasi ban kendaraan, partikel jalanan, atau sumber lain yang terkait dengan aktivitas transportasi.
3. Konsentrasi mikroplastik dikendalikan oleh interaksi antara faktor antropogenik (lalu lintas) dan meteorologi (intensitas hujan). Kepadatan lalu lintas terbukti sebagai sumber emisi yang mengontrol variasi spasial, yang menjelaskan mengapa konsentrasi di Ringroad Utara (1,45 partikel/mL) secara drastis lebih tinggi daripada di UII (Belakang) (0,11 partikel/mL). Pada saat yang sama, intensitas curah hujan terbukti sebagai mekanisme deposisi yang mengontrol variasi temporal, yang menjelaskan terjadinya fenomena first flush (konsentrasi pada 15 menit pertama lebih tinggi daripada 15 menit berikutnya). Dengan demikian, disimpulkan bahwa konsentrasi tertinggi di Ringroad Utara (A) adalah hasil dari mekanisme deposisi (hujan) yang paling efisien yang terjadi di lokasi dengan sumber emisi (lalu lintas) yang paling tinggi.

5.2 Saran

Berdasarkan hasil penelitian dan kesimpulan, maka saran yang dapat dipertimbangkan adalah sebagai berikut:

1. Melakukan Penelitian dilakukan pada musim berbeda atau dalam periode waktu lebih panjang untuk melihat variasi musiman terhadap konsentrasi mikroplastik dalam air hujan.
2. Pengambilan sampel air hujan dilakukan di area pemukiman, ruang terbuka hijau, atau kawasan industri dapat membantu membandingkan distribusi mikroplastik secara lebih menyeluruh di berbagai karakteristik wilayah.
3. Perlu dilakukan analisis lanjutan terhadap jenis polimer mikroplastik menggunakan metode polimer seperti FTIR atau Raman, untuk mengetahui jenis bahan pembentuk serta potensi sumber kontaminasinya secara lebih spesifik.
4. Pemanfaatan air hujan sebagai air baku sebaiknya disertai dengan sistem filtrasi awal, khususnya di wilayah perkotaan, guna mengurangi risiko paparan mikroplastik terhadap manusia.

DAFTAR PUSTAKA

- Akhbarizadeh, R., Dobaradaran, S., Amouei Torkmahalleh, M., Saeedi, R., Aibaghi, R., & Faraji Ghasemi, F. (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*, 110339.
- Allen, S., Allen, D., Phoenix, V., Le Roux, G., Durántez Jiménez, P., Simonneau, A., Binet, S., & Galop, D. (2019). Atmospheric transport and deposition of microplastics in a remote mountain catchment. *Nature Geoscience*, *12*(5), 339–344.
- Ayuningtyas, L. (2019). Pencemaran mikroplastik dalam udara dan potensi dampaknya bagi kesehatan manusia. *Jurnal Lingkungan dan Kesehatan*, *7*(2), 112–120.
- Ayuningtyas, W. C. (2019). Kelimpahan mikroplastik pada perairan di Banyuurip, Gresik, Jawa Timur. *Of Fisheries and Marine Research*, 41–45.
- Brahney, J., Mahowald, N., Prank, M., Cornwell, G., Klimont, Z., Matsui, H., & Prather, K. A. (2020). Constraining the atmospheric limb of the plastic cycle. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, *117*(18), 9182–9190.
- Carpenter, E. J., & Smith, K. L. (1972). Plastics on the Sargasso Sea surface. *Science*, *175*(4027), 1240–1241.
- Cai, L., Wang, J., Peng, J., Wu, Z., Tan, X., & Fang, C. (2017). Characteristic of microplastics in the atmospheric fallout from Dongguan city, China: Preliminary research and first evidence. *Environmental Science and Pollution Research*, *24*(32), 24928–24935.
- Cordova, M. R. (2016). *Marine plastic debris: The threat to marine ecosystems, with a special focus on the East Asian Seas region* (Laporan Teknis). Jakarta: LIPI – Pusat Penelitian Oseanografi.
- Cowger, W., Gray, A., Christiansen, S. H., De Frond, H., Deshpande, A. D., Hemabessiere, L., ... & Rochman, C. M. (2021). Microplastic spectral classification needs an open source community: Open Specy to the rescue. *Analytical Chemistry*, *93*(21), 7543–7548.

- Cowger, W., Steinmetz, Z., Gray, A., Munno, K., Lynch, J., Hapich, H., ... & Rochman, C. M. (2020). Microplastic terminology: Guiding definitions for consistency and clarity. *Environmental Science & Technology Letters*, 7(12), 1040–1048.
- Dris, R., Gasperi, J., Mirande, C., Mandin, C., Guerrouache, M., Langlois, V., & Tassin, B. (2016). A first overview of textile fibers, including microplastics, in indoor and outdoor environments. *Environmental Pollution*, 221, 453–458.
- Dris, R., Gasperi, J., Rocher, V., Saad, M., Renault, N., & Tassin, B. (2015). Microplastic contamination in an urban area: A case study in Greater Paris. *Environmental Chemistry*, 12(5).
- Dris, R., Gasperi, J., Saad, M., Mirande, C., & Tassin, B. (2016). Synthetic fibers in atmospheric fallout: A source of microplastics in the environment? *Marine Pollution Bulletin*, 104(1–2), 290–293.
- Farah, H. (2024). *Identifikasi dan karakteristik mikroplastik pada debu jalan di kawasan Ringroad Utara, Sleman, Daerah Istimewa Yogyakarta* (Skripsi, Universitas Islam Indonesia. Universitas Islam Indonesia Repository).
- Gasperi, J., Wright, S. L., Dris, R., Collard, F., Mandin, C., Guerrouache, M., ... & Tassin, B. (2016). Microplastics in air: Are we breathing it in? *Current Opinion in Environmental Science & Health*, 1, 1–5.
- Hidalgo-Ruz, V., Gutow, L., Thompson, R. C., & Thiel, M. (2012). Microplastics in the marine environment: A review of the methods used for identification and quantification. *Environmental Science & Technology*, 46(6), 3060–3075.
- Horton, A. A., Walton, A., Spurgeon, D. J., Lahive, E., & Svendsen, C. (2017). Microplastics in freshwater and terrestrial environments: Evaluating the current understanding to identify the knowledge gaps and future research priorities. *Science of the Total Environment*, 586, 127–141.
- Imhof, H. K., Laforsch, C., Wiesheu, A. C., Schmid, J., Anger, P. M., Niessner, R., & Ivleva, N. P. (2016). Pigments and plastic in limnetic ecosystems: A qualitative and quantitative study on microparticles of different size classes. *Environmental Pollution*, 218, 356–365.

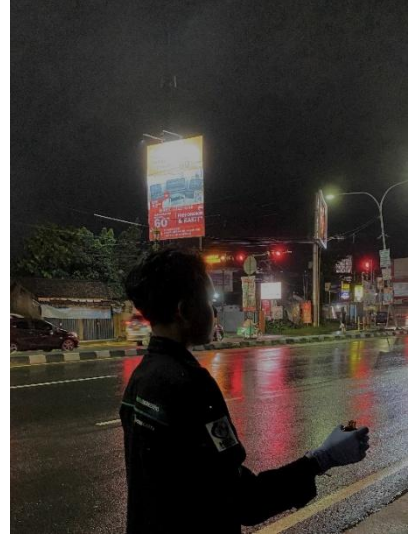
- Klein, M., & Fischer, E. K. (2019). Microplastic abundance in atmospheric deposition within the Metropolitan area of Hamburg, Germany. *Science of the Total Environment*, 685, 96–103.
- Kole, P. J., Löhr, A. J., Van Belleghem, F., & Ragas, A. M. J. (2017). Wear and tear of tyres: A stealthy source of microplastics in the environment. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 14(10), 1265.
- Liu, K., Wu, T., Wang, X., Song, Z., Zong, C., Wei, N., Li, D., & He, D. (2019). Consistent transport of terrestrial microplastics to the ocean through atmosphere. *Environmental Science & Technology*, 53(18), 10612–10619.
- Löder, M. G. J., & Gerdts, G. (2015). Methodology used for the detection and identification of microplastics—A critical appraisal. In M. Bergmann, L. Gutow, & M. Klages (Eds.), *Marine anthropogenic litter* (pp. 201–227). Springer.
- Lusher, A. et al. (2015). *Microplastics in the Marine Environment: Distribution, Interactions and Effects*. Dalam M. Bergmann, L. Gutow, & M. Klages (Eds.), *Marine Anthropogenic Litter*. Springer, Cham.
- Maharani, H. A. (2023). *Identifikasi Mikroplastik di Udara Pada Polutan Total Suspended Particulate (TSP) dan Particulate Matter (Pm_{2.5}, Pm₁₀) di Ringroad Kota Yogyakarta* (Doctoral dissertation, Universitas Islam Indonesia).
- Mintenig, S. M., Int-Veen, I., Löder, M. G. J., Primpke, S., & Gerdts, G. (2017). Identification of microplastic in effluents of waste water treatment plants using focal plane array-based micro-Fourier-transform infrared imaging. *Water Research*, 108, 365–372.
- Novitasari, A. R., Satyantini, W. H., Andriyono, S., & Nor Sa'adah. (2023). Isolasi dan identifikasi bakteri pengurai mikroplastik polyethylene terephthalate dari sedimen ekosistem mangrove Pasir Putih. *Journal of Marine Research*, 12(1), 52–60.
- Nor, N. H. M., & Obbard, J. P. (2014). *Microplastics in Singapore's coastal mangrove ecosystems*. *Marine Pollution Bulletin*, 79(1–2), 278–283.

- O'Brien, J. W., et al. (2023). Sources, transport, and fate of atmospheric microplastics: A global perspective. *Science of the Total Environment*, 891, 164396.
- Pratiwi, A. (2020). Karakterisasi Mikroplastik Dalam Ruang (Doctoral dissertation, Institut Teknologi Sepuluh Nopember).
- Prilila, F. G., Wardhana, I. W., & Sutrisno, E. (2016). Estimasi sebaran dan analisis risiko TSP dan Pb di terminal bis terhadap kesehatan pengguna terminal (Studi kasus: Terminal Mangkang dan Penggaron, Semarang). *Jurnal Teknik Lingkungan*, 5(4).
- Rahmadhani, N. (2019). *Identifikasi Jenis dan Warna Mikroplastik pada Air Lindi TPA Sarimukti*. Skripsi, Institut Teknologi Bandung.
- Sajjad, M., Huang, Q., Khan, S., Khan, M. A., Liu, Y., Wang, J., Lian, F., Wang, Q., & Guo, G. (2022). Microplastics in the soil environment: A critical review. *Environmental Technology & Innovation*, 27.
- Scheller, C., Tiso, T., Narancic, T., & Blank, L. M. (2020). Microplastics in the environment: Interactions with microbes and plants. *Frontiers in Microbiology*, 11, 582761.
- Sommer, F., Dietze, V., Baum, A., Sauer, J., Gilge, S., Maschowski, C., & Gieré, R. (2018). Tire abrasion as a major source of microplastics in the environment. *Aerosol and Air Quality Research*, 18(8), 1987–1999.
- Tian, L., Ma, J., Shi, Y., Zhou, Y., & Zhang, H. (2021). Limitations of FTIR spectroscopy in microplastic characterization: Signal overlap and background interference. *Journal of Hazardous Materials*, 418, 126274.
- Tian, Z., Zhao, Y., Liu, Y., Fang, C., Shen, M., & Zhu, L. (2017). Atmospheric wet deposition of microplastics in urban and suburban areas. *Environmental Pollution*, 237, 775–781.
- Utami, I., Andini, M. A., Zahra, S. A., & Gunawan, A. K. (2023). Microplastic contamination of rainwater on the highway with different elevations in Yogyakarta Province, Indonesia. *Journal of Biotechnology and Natural Science*, 3(2), 51–60.
- Veerasingam, S., Ranjani, M., Venkatachalapathy, R., Bagaev, A., Mukhanov, V., Litvinyuk, D., ... Vethamony, P. (2020). Contributions of Fourier transform

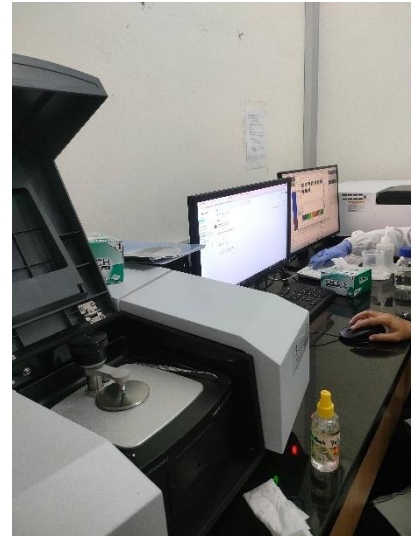
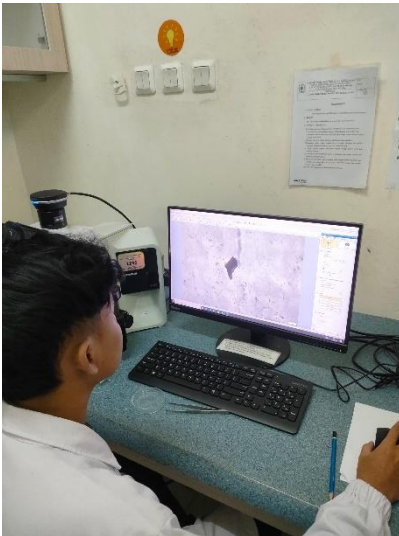
- infrared spectroscopy in microplastic pollution research: A review. *Critical Reviews in Environmental Science and Technology*, 51(1), 1–63.
- Verschoor, A., de Poorter, L., de Brouwer, D., & Crum, S. (2016). Emission of microplastics and potential mitigation measures: Abrasion of car tyres. *RIVM Report 2016-0026*, National Institute for Public Health and the Environment.
- Villafañe, A. B., Ronda, A. C., Rodríguez Pirani, L. S., Picone, A. L., Lucchi, L. D., Romano, R. M., Pereyra, M. T., & Arias, A. H. (2023). Microplastics and anthropogenic debris in rainwater from Bahía Blanca, Argentina. *Heliyon*.
- Wang, W., Ndungu, A. W., Li, Z., & Wang, J. (2018). Microplastics pollution in inland freshwaters of China: A case study in urban surface waters of Wuhan, China. *Science of The Total Environment*, 575, 1369–1374.
- Wei, L., Zhang, C., Zeng, X., Li, Z., Wang, Z., & Li, Y. (2023). Sources, transport pathways, fate, and mitigation strategies of microplastics in the environment: A review. *Journal of Environmental Management*, 325, 116504.
- Widianarko, B., & Hantoro, I. (2018). *Mikroplastik dalam Seafood dari Pantai Utara Jawa*. Semarang: Universitas Katolik Soegijapranata.
- Zhang, Y., et al. (2020). Atmospheric microplastics: A review on current status and perspectives. *Earth-Science Reviews*, 203, 103118

LAMPIRAN

Lampiran 1.1 Pengambilan sampel



Lampiran 1.2 Pengujian Sampel



RIWAYAT HIDUP



Elvino Rudi Hendrawan, lahir di Jakarta, 11 Januari 2003 merupakan anak keempat dari empat bersaudara. Penulis telah menempuk pendidikan di TK AL Asri Bekasi, kemudian melanjutkan pendidikan di SDN Harapan Baru 3 Bekasi, lalu SMPN 38 Bekasi dan melanjutkan ke SMAN 2 Babelan Bekasi. setelah lulus SMA, penulis langsung mengikuti seleksi pada tahun 2021 di Universitas Islam Indonesia dan diterima sebagai mahasiswa Program Studi Teknik Lingkungan, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Universitas Islam Indonesia.

