

TUGAS AKHIR

**IDENTIFIKASI KANDUNGAN MIKROPLASTIK PADA
PM₁₀ STUDI KASUS BASEMENT DAN
LABORATORIUM UNIVERSITAS ISLAM
INDONESIA**

**Diajukan Kepada Universitas Islam Indonesia Yogyakarta Untuk Memenuhi
Persyaratan Memperoleh Derajat Sarjana (S1) Teknik Lingkungan**



**KAMILLA QURROTA AYUNNISSA
20513051**

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

TUGAS AKHIR

IDENTIFIKASI KANDUNGAN MIKROPLASTIK PADA
PM₁₀ STUDI KASUS BASEMENT DAN
LABORATORIUM UNIVERSITAS ISLAM
INDONESIA

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



Disusun Oleh:

KAMILLA QURROTA AYUNNISSA
20513051

Disetujui,

Pembimbing I

Noviani Ima Wantoputri, S.T., M.T.

Tanggal:

Pembimbing II

Dr. Suphia Rahmawati, S.T., M.T.

Tanggal: 25/10/24

Mengetahui,
Ketua Prodi Teknik Lingkungan FTSP UII
Anv. Julianti, S.T., M. Sc., Res. Eng. Ph.
Tanggal:

HALAMAN PENGESAHAN

**IDENTIFIKASI KANDUNGAN MIKROPLASTIK PADA
PM₁₀ STUDI KASUS BASEMENT DAN
LABORATORIUM UNIVERSITAS ISLAM
INDONESIA**

Telah Diterima dan Disahkan oleh Tim Penguji

Hari : Jumat

Tanggal : 25 Oktober 2024

Disusun Oleh :

KAMILLA QUROTA AYUNNISSA

20513051

Tim Penguji :

Noviani Ima Wantoputri, S.T., M.T. ()

Dr. Suphia Rahmawati, S.T., M.T. ( 25/10 24)

Ana Uswatun Hasanah., S.Si., M.T. ( 25/10 24)

PERNYATAAN

Dengan ini saya menyatakan bahwa:

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

Yogyakarta, 29 Agustus 2024

Yang membuat pernyataan,



Kamilla Qurrota Ayunnissa

NIM: 20513051

PRAKATA

Assalamu'alaikum Warrahmatullahi Wabarakatuh

Segala puji dan syukur atas kehadiran Allah SWT yang telah melimpahkan rahmat dan hidayah-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan Tugas Akhir dengan Judul Identifikasi Mikroplastik Pada *Particulate Matter* (PM₁₀) Studi Kasus *Basement* dan Laboratorium Universitas Islam Indonesia. Penyusunan Laporan tugas akhir ini dilakukan sebagai salah satu syarat untuk menyelesaikan Program Pendidikan Strata Satu (S1) pada Program Pendidikan Studi Teknik Lingkungan Universitas Islam Indonesia.

Dalam penyusunan laporan tugas akhir ini ada banyak kendala dan rintangan yang penulis hadapi, namun pada akhirnya bisa diatas berkat bantuan, arahan, bimbingan serta dukungan dari berbagai pihak. Oleh karena itu, pada kesempatan ini penulis menyampaikan ucapan terima kasih kepada:

1. Allah *Subhanahu Wa Ta ala* yang telah memberikan kelimpahan rahmat-Nya serta nikmat yang tiada tara sehingga penulis dapat menyelesaikan Tugas Akhir ini dengan baik dan lancar.
2. Kedua orang tua dan kakak-kakak adik saya yang selalu memberikan doa, dukungan dan kepercayaan kepada penulis selama proses penyusunan laporan ini.
3. Ibu Noviani Ima Wantoputri, S.T., M.T. selaku Dosen Pembimbing I Tugas Akhir yang selalu memberikan bimbingan, bantuan, arahan, serta saran yang sangat bermanfaat dalam penyusunan Tugas Akhir ini.
4. Ibu Dr. Suphia Rahmawati, S.T., M.T. selaku Dosen Pembimbing II Tugas Akhir yang ikut serta memberikan bimbingan, arahan, bantuan serta saran yang sangat membantu dalam penyusunan Tugas Akhir ini.
5. Seluruh dosen, staff dan keluarga besar Program Studi Teknik Lingkungan Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan Universitas Islam Indonesia yang

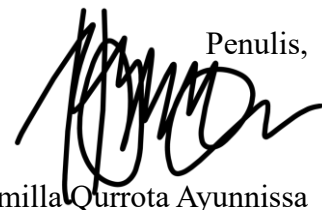
telah memberikan bantuan, pengajaran dan pengalaman kepada penulis sehingga ilmu yang diperoleh dapat bermanfaat untuk masa depan.

6. Teman-teman yang saya sayangi yaitu Nadhifah, Salma, Caca, Zahrah, Riri dan Ano yang selalu membantu dalam setiap kesulitan saya dan selalu ada dalam setiap sedih dan senang. Teman-teman sejak saya kecil yang selalu hadir saat saya membutuhkan yaitu Ichak dan Sita.
7. Seluruh pihak yang tidak dapat disebutkan satu-persatu dalam membantu penulis menyelesaikan penelitian ini.

Penulis menyadari segala kekurangan yang terdapat pada laporan tugas akhir ini serta tidak luput dari adanya kesalahan serta keterbatasan ilmu pengetahuan yang dimiliki penulis. Oleh karena itu, penulis mengharapkan kritik dan saran yang bersifat membangun untuk kemajuan penulis dan kelengkapan laporan ini. Semoga laporan tugas akhir ini dapat bermanfaat bagi penulis dan pembaca.

Billahi taufiq wal hidayah, Wassalamu'alaikum Warahmatullahi Wabarakatuh.

Yogyakarta, 29 Agustus 2024

Penulis,
Kamilla Qurrota Ayunissa

20513051

ABSTRACT

KAMILLA QURROTA AYUNNISA. Identification of Microplastics in Particulate Matter (PM₁₀): A Case Study in the Basement and Laboratory of Islamic University of Indonesia. Supervised by Noviani Ima Wantoputri, S.T., M.T. and Dr. Suphia Rahmawati, S.T., M.T.

Indonesia produces 3.2 million tons of unprocessed plastic waste annually. The use of plastic has become an inseparable part of daily life. Plastic polymers are widely used as additives in various sectors, including the vehicle industry. This leads to the presence of microplastics and pollutants, specifically PM₁₀ from vehicles, in the air, particularly in indoor environments. This study was conducted in the basement of the Faculty of Law and the Environmental Engineering Water Laboratory at Islamic University of Indonesia, with PM₁₀ samples being collected. The purpose of this study was to identify microplastics based on their abundance and characteristics, such as color, type, and size, as well as to measure the concentration of PM₁₀. The PM₁₀ sampling method followed SNI 16-7058-2004, which concerns the measurement of total dust levels in workplace air. The microplastic sample testing was carried out using methods from previous studies and was analyzed using a microscope and FTIR to determine the polymer composition. The highest number of microplastic particles, 1420, was found at the FH basement exit, while the lowest, 882, was found in the TL Water Laboratory. Additionally, four types of microplastics were identified, ranked from highest to lowest: fragments > film > pellets > fiber, with 10 microplastic colors identified: black, brown, red, yellow, transparent, orange, blue, green, pink, and purple. FTIR analysis revealed the presence of Polypropylene (PP), Polystyrene (PS), Low-Density Polyethylene (LDPE), Nylon, Polycarbonate (PC), Polyvinyl Chloride (PVC), and Polytetrafluoroethylene (PTFE).

Keywords: Microplastics, PM₁₀, Indoor air, Universitas Islam Indonesia

ABSTRAK

KAMILLA QURROTA AYUNNISA. Identifikasi Mikroplastik Pada *Particulate Matter* (PM₁₀) Studi Kasus *Basement* dan Laboratorium Universitas Islam Indonesia. Dibimbing oleh Noviani Ima Wantoputri, S.T., M.T. dan Dr. Suphia Rahmawati, S.T., M.T.

Indonesia memproduksi 3,2 juta ton sampah plastik yang tidak diolah setiap tahunnya. Penggunaan plastik telah menjadi bagian tak terpisahkan dari kehidupan sehari-hari masyarakat. Polimer plastik digunakan secara luas sebagai bahan tambahan di berbagai sektor, termasuk dalam industri kendaraan. Hal ini menimbulkan adanya mikroplastik di udara dan adanya polutan di udara yaitu PM₁₀ dari kendaraan, khususnya di udara *indoor*. Lokasi penelitian dilakukan di *basement* Fakultas Hukum dan Laboratorium Air Teknik Lingkungan Universitas Islam Indonesia dengan sampel yang diambil adalah PM₁₀. Tujuan dari penelitian ini yaitu untuk mengidentifikasi mikroplastik berdasarkan kelimpahan dan karakteristiknya seperti warna, jenis dan ukuran, serta mengukur konsentrasi PM₁₀. Metode pengambilan sampel PM₁₀ sesuai dengan SNI 16-7058-2004 tentang Pengukuran kadar debu total di udara tempat kerja. Metode pengujian sampel mikroplastik dilakukan berdasarkan metode pada penelitian sebelumnya, kemudian dianalisis dengan mikroskop dan FTIR untuk mengetahui polimernya. Hasil jumlah partikel mikroplastik yang paling tinggi yaitu 1420 partikel di pintu keluar *basement* FH dan paling rendah yaitu 882 di Laboratorium Air TL. Selain itu ditemukan 4 jenis mikroplastik diurutkan dari yang paling tinggi hingga paling rendah yaitu *fragmen* > *film* > *pellet* > *fiber* dengan 10 macam warna mikroplastik yaitu warna hitam, coklat, merah, kuning, transparan, oranye, biru, hijau, pink dan ungu. Serta hasil pembacaan FTIR melalui peak yang didapatkan dari sampel mikroplastik yaitu jenis *Polypropylene* (PP), *Polyestylene* (PS), *Low Density Polyethylene* (LDPE), *Nylon*, *Polycarbonate* (PC), *Polyvinyl Chloride* (PVC) dan *Polytetrafluorethylene* (PTFE). Kata Kunci: Mikroplastik, PM₁₀, Udara dalam ruang, Universitas Islam Indonesia

DAFTAR ISI

HALAMAN PENGESAHAN	2
PERNYATAAN.....	4
PRAKATA	5
ABSTRACT.....	7
ABSTRAK.....	8
DAFTAR ISI.....	9
DAFTAR GAMBAR	11
DAFTAR TABEL	12
DAFTAR LAMPIRAN.....	13
BAB I PENDAHULUAN.....	14
1.1 Latar Belakang	14
1.2 Rumusan Masalah	16
1.3 Tujuan Penelitian.....	16
1.4 Manfaat Penelitian	16
1.5 Ruang Lingkup.....	17
1.6 Kerangka Berpikir	17
BAB II TINJAUAN PUSTAKA.....	19
2.1 Pencemaran Udara Dalam Ruangan.....	19
2.2 Particulate Matter (PM ₁₀)	19
2.3 Dampak PM ₁₀ Terhadap Kesehatan Manusia dan Lingkungan.....	20
2.4 Mikroplastik	21
2.5 Proses Transport Mikroplastik	24
2.6 Dampak Mikroplastik Terhadap Kesehatan	24
2.7 Penelitian Terdahulu.....	26
BAB III METODE PENELITIAN	30
3.1 Diagram Alir Penelitian.....	30
3.2 Waktu dan Lokasi.....	31
3.3 Alat dan Bahan.....	32
3.3.1 Alat dan Bahan Pengambilan Sampel	32

3.3.2	Alat dan Bahan Pengujian Sampel.....	33
3.4	Pengumpulan Data	34
3.4.1	Data Primer	34
3.4.2	Data Sekunder	41
3.5	Pengolahan Data dan Analisa Data	42
BAB IV	HASIL DAN PEMBAHASAN	44
4.1	Detail Lokasi Sampling.....	44
4.2	Analisis Hasil Uji Pengukuran PM ₁₀	46
4.3	Analisis Hasil Uji Mikroplastik	51
4.3.1	Identifikasi Mikroplastik Berdasarkan Jumlah dan Kelimpahan	51
4.3.2	Identifikasi Mikroplastik Berdasarkan Jenis	54
4.3.3	Identifikasi Mikroplastik Berdasarkan Warna.....	61
4.3.4	Identifikasi Mikroplastik Berdasarkan Ukuran	66
4.3.5	Identifikasi Mikroplastik Berdasarkan Polymer	68
4.3.6	Mitigasi dan Pengendalian Mikroplastik di Lingkungan	71
BAB V	KESIMPULAN DAN SARAN	73
5.1	Kesimpulan	73
5.2	Saran.....	74
DAFTAR PUSTAKA.....		75

DAFTAR GAMBAR

Gambar 1. 1 Kerangka berpikir	18
Gambar 2. 1 Contoh bentuk mikroplastik.....	23
Gambar 3. 1 Diagram alir penelitian	30
Gambar 3. 2 Titik pengambilan sampel di Fakultas Hukum	31
Gambar 3. 3 Titik pengambilan sampel di Laboratorium Teknik Lingkungan.....	32
Gambar 3. 4 Lokasi pengambilan sampel (a) Pintu keluar FH, (b) Pintu masuk FH, (c) Lab Air Teknik Lingkungan	35
Gambar 3. 5 Proses membersihkan sampel dengan ultrasonic bath	37
Gambar 3. 6 Penghilangan bahan organik dengan H ₂ O ₂	38
Gambar 3. 7 Diagram alir pengujian sampel mikroplastik	39
Gambar 3. 8 Analisis mikroplastik dengan mikroskop.....	40
Gambar 4. 1 Peta situasi area lokasi sampling.....	45
Gambar 4. 2 Titik A1 di pintu keluar basement Fakultas Hukum	45
Gambar 4. 3 Titik A2 di pintu masuk basement Fakultas Hukum.....	46
Gambar 4. 4 Titik A3 di Laboratorium Air Teknik Lingkungan.....	46
Gambar 4. 5 Grafik konsentrasi PM ₁₀	48
Gambar 4. 6 Klasifikasi mikroplastik	51
Gambar 4. 7 Grafik jumlah mikroplastik	52
Gambar 4. 8 Jenis mikroplastik: (a) fiber; (b) film; (c) fragmen; (d) Pellet	56
Gambar 4. 9 Persentase jumlah mikroplastik berdasarkan jenis.....	56
Gambar 4. 10 Grafik jumlah mikroplastik berdasarkan jenis	57
Gambar 4. 11 Grafik komposisi mikroplastik.....	58
Gambar 4. 12 Grafik Wind Rose.....	61
Gambar 4. 13 Warna mikroplastik: (A) Pink; (B) Transparan; (C) Merah; (D) Oranye; (E) Hitam; (F) Kuning; (G) Ungu; (H) Hijau; (I) Coklat; (J) Biru	62
Gambar 4. 14 Klasifikasi mikroplastik berdasarkan warna	63
Gambar 4. 15 Persentase jumlah mikroplastik berdasarkan warna	63
Gambar 4. 16 Jumlah mikroplastik berdasarkan warna dan jenis	65
Gambar 4. 17 Ukuran mikroplastik	67
Gambar 4. 18 Persentase jumlah polimer	69

DAFTAR TABEL

Tabel 2. 1 Klasifikasi mikroplastik berdasarkan bentuk	22
Tabel 2. 2 Penelitian terdahulu.....	26
Tabel 3. 1 Alat Sampling.....	32
Tabel 3. 2 Bahan Sampling	33
Tabel 3. 3 Alat Pengujian	33
Tabel 3. 4 Bahan Pengujian	34
Tabel 4. 1 Data faktor meteorologis A1	47
Tabel 4. 2 Data faktor meteorologis A2	47
Tabel 4. 3 Data faktor meteorologis A3	47
Tabel 4. 4 Konsentrasi PM ₁₀	48
Tabel 4. 5 Kelimpahan mikroplastik berdasarkan volume udara.....	52
Tabel 4. 6 Kelimpahan mikroplastik berdasarkan rasio	53
Tabel 4. 7 Identifikasi mikroplastik berdasarkan polimer	68

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1 Pengambilan sampel di Fakultas Hukum	85
Lampiran 2 Pembakaran sampah dan tumpukan plastik di atas Lab. Air	86
Lampiran 3 Sumber mikroplastik dari dalam basement yaitu rubber mat; kabel; pipa	87
Lampiran 4 Kegiatan konstruksi disekitar Fakultas Hukum.....	87
Lampiran 5 Kegiatan pembakaran sampah, tumpukan sampah dan pertanian di sekitar Fakultas Hukum.....	88
Lampiran 6 Pengambilan sampel di Lab. Teknik Lingkungan	88
Lampiran 7 Penimbangan kertas filter	89
Lampiran 8 Proses ultrasonic bath	89
Lampiran 9 Setelah pengeringan dari oven.....	89
Lampiran 10 Perendaman dengan H_2O_2	90
Lampiran 11 Pengocokan sampel dengan $ZnCl_2$ menggunakan stirrer.....	90
Lampiran 12 Proses vakum sampel mikroplastik	91
Lampiran 13 Identifikasi dengan mikroskop	91
Lampiran 14 Grafik FTIR sampel A1	92
Lampiran 15 Grafik FTIR sampel A2	92
Lampiran 16 Grafik FTIR sampel A3	93
Lampiran 17 Grafik FTIR Blanko	93
Lampiran 18 Jumlah mikroplastik berdasarkan warna	94
Lampiran 19 Jumlah mikroplastik berdasarkan jenis.....	94

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Menurut (UNEP, 2020) Indonesia merupakan negara penghasil plastik terbesar di dunia setelah Cina dengan populasi manusia sebanyak 250 juta penduduk. Indonesia memproduksi 3,2 juta ton sampah plastik yang tidak diolah setiap tahunnya. Penggunaan plastik telah menjadi bagian tak terpisahkan dari kehidupan sehari-hari masyarakat. Sampah yang mengandung polimer plastik atau plastik itu sendiri yang tidak diolah dengan baik dapat mencemari lingkungan termasuk pencemaran udara. Polimer plastik digunakan secara luas sebagai bahan tambahan di berbagai sektor, termasuk dalam industri kendaraan. Hal ini menimbulkan adanya mikroplastik di udara dan adanya polutan di udara yaitu PM₁₀, khususnya di udara *indoor*. Pencemaran udara akibat kendaraan adalah salah satu sumber emisi udara di lingkungan yang masih menjadi permasalahan yang perlu diatasi.

Mikroplastik diketahui memiliki berbagai bentuk, warna dan ukuran. MPs berukuran 5 mm atau lebih kecil (Lusher, et al., 2017). Dengan ukurannya yang kecil, MPs dapat terbawa ke udara. Mikroplastik dapat mengancam manusia karena MPs di *indoor air* yang dapat tersuspensi dan tersuspensi ulang, terperangkap, mengendap karena gravitasi, dan dapat berinteraksi dengan bahan kimia, mikroorganisme dan partikel mikroplastik lain (Xinran Z., et al., 2023). Mikroplastik pada udara perlu dipertimbangkan sebagai permasalahan kesehatan utama bagi manusia karena termasuk komponen dari partikulat di atmosfer. Partikulat dengan diameter aerodinamis $\leq 100\mu\text{m}$ termasuk partikel yang mudah terhirup, namun yang lebih berbahaya bagi pernapasan adalah partikulat dengan diameter $< 10\mu\text{m}$ atau PM₁₀. Pada penelitian (Isabel, et al., 2023) menunjukkan bahwa di kota berukuran sedang di Spanyol ditemukan *polystyrene microplastic* di

PM₁₀ dengan jumlah $2,09 \pm 0,8$ ng/m³. Namun belum banyak penelitian yang membuktikan bahwa mikroplastik terbawa partikulat dan sebaliknya.

Pada penelitian Maharani (2023) dilakukan proses analisis identifikasi mikroplastik melalui polutan TSP, PM₁₀, dan PM_{2,5} pada udara ambien di daerah Yogyakarta. Hasil penelitian tersebut menunjukkan bahwa ditemukan mikroplastik di udara ambien sebanyak 225 partikel di Ringroad Barat, 392 partikel di Ringroad Selatan, 463 partikel di Ringroad Timur, dan 309 partikel di Ringroad Utara (Maharani, 2023). Selain itu pada penelitian Rihab (2023) dilakukan penelitian selama 24 minggu pada 90 lokasi dengan lingkungan *indoor* yang bervariasi dan pada salah satu lokasi yaitu di taman kanak-kanak ditemukan rata-rata sebanyak $20,2 \pm 1,7$ MP/m³. Pada penelitian oleh (Long Zhu, et al., 2024) membuktikan bahwa mikroplastik yang terkonsumsi (*ingestion*) atau terhirup (*inhalation*) dan masuk ke tubuh manusia dapat berbahaya bagi manusia, lebih parahnya apabila mikroplastik tersebut mengendap lama dalam tubuh manusia dapat menimbulkan kanker. Saat ini, penelitian terkait mikroplastik di udara terutama di Indonesia masih sangat terbatas. Oleh karena adanya indikasi mikroplastik melalui parameter TSP, PM₁₀ dan PM_{2,5} di Kota Yogyakarta pada penelitian sebelumnya, sehingga penelitian ini akan dilakukan identifikasi dan analisis MPs, serta pemantauan kualitas udara melalui parameter PM₁₀ di udara *indoor* dalam lingkup yang lebih kecil yaitu *Basement* dan Laboratorium Universitas Islam Indonesia.

Penelitian ini dilakukan di *basement* dan laboratorium Universitas Islam Indonesia akibat banyaknya kegiatan manusia dan kendaraan. Menurut penelitian (Xinran, 2023) kendaraan terbukti menjadi salah satu sumber mikroplastik di udara. Hal ini dibuktikan oleh penelitian (Kole, Pieter Jan. 2017) bahwa keausan ban kendaraan menjadi salah satu sumber mikroplastik di udara. Selain itu kendaraan juga menjadi sumber polutan PM₁₀ di udara dalam ruangan dan dibuktikan oleh (Romansyah, 2019) yang menunjukkan korelasi positif antara konsentrasi CO dan PM₁₀ terhadap jumlah kendaraan. Serta banyaknya kegiatan mahasiswa di kampus terutama di dalam ruangan menyebabkan adanya indikasi peningkatan paparan pencemaran udara yang dapat mengancam kesehatan manusia.

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang tersebut maka dapat dirumuskan masalah sebagai berikut:

1. Berapa konsentrasi *Particulate Matter* (PM₁₀) yang ditemukan di *basement* dan laboratorium Universitas Islam Indonesia?
2. Berapa kelimpahan mikroplastik di udara *indoor* melalui *Particulate Matter* (PM₁₀) pada *basement* dan laboratorium Universitas Islam Indonesia?
3. Bagaimana karakteristik mikroplastik yang ditemukan pada *Particulate Matter* (PM₁₀) di udara *indoor* pada *basement* dan laboratorium Universitas Islam Indonesia?

1.3 Tujuan Penelitian

Penelitian ini memiliki tujuan sebagai berikut:

1. Mengukur konsentrasi *Particulate Matter* (PM₁₀) yang ditemukan di *basement* dan laboratorium Universitas Islam Indonesia dibandingkan dengan baku mutu yang berlaku.
2. Mengukur kelimpahan mikroplastik melalui parameter *Particulate Matter* (PM₁₀) di udara *indoor* pada *basement* dan laboratorium Universitas Islam Indonesia.
3. Mengidentifikasi karakteristik mikroplastik yang ditemukan melalui *Particulate Matter* (PM₁₀) di udara *indoor* pada *basement* dan laboratorium Universitas Islam Indonesia.

1.4 Manfaat Penelitian

Hasil penelitian ini diharapkan dapat menjadi bahan bacaan untuk menambah informasi dan ilmu pengetahuan terkait mikroplastik di udara dalam ruangan bagi pembaca dan dapat dijadikan referensi bagi pengembangan kajian mikroplastik di udara khususnya di dalam ruangan.

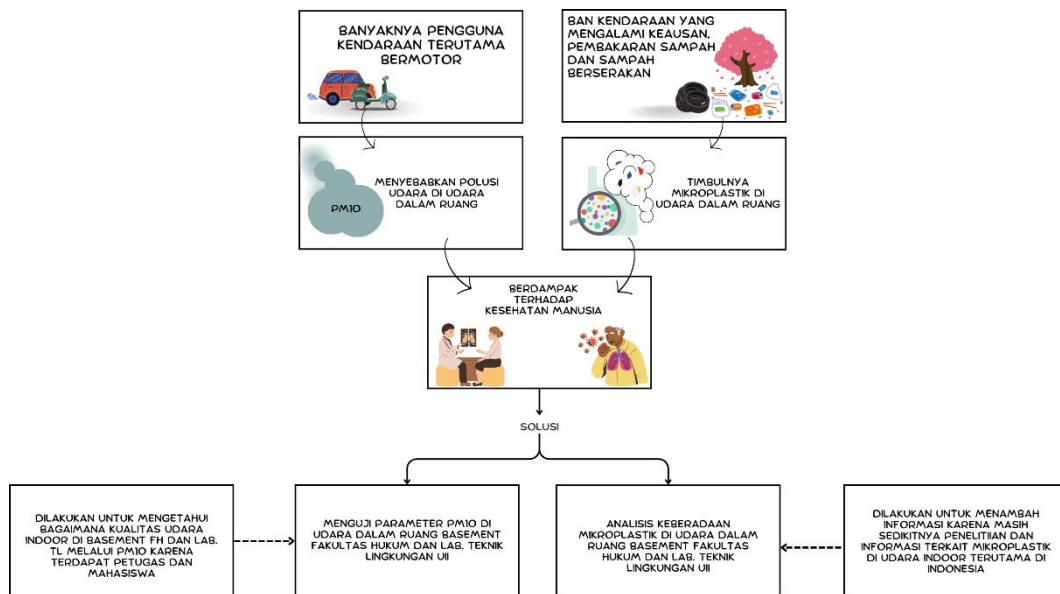
1.5 Ruang Lingkup

Ruang lingkup penelitian ini yaitu:

1. Pengambilan sampel parameter PM_{10} dilakukan di sekitar area *basement* dan laboratorium UII.
2. Sampel yang diambil adalah polutan melalui parameter PM_{10} yang berada di udara di dalam ruangan dengan alat LVAS sesuai dengan SNI 16-7058-2004 tentang Pengukuran kadar debu total di udara tempat kerja dengan metode gravimetri dengan waktu pengambilan selama 8 jam kerja sesuai dengan adanya aktivitas di area kampus.
3. Pada penelitian ini, nilai konsentrasi PM_{10} yang diperoleh dari pengukuran selama 8 jam akan dibandingkan dengan standar baku mutu dari Peraturan Menteri Kesehatan Nomor 2 Tahun 2023. Hasilnya dianggap mewakili pengukuran selama 24 jam karena keterbatasan waktu pengukuran.
4. Melakukan uji analisis mikroplastik di Laboratorium UII untuk mengidentifikasi mikroplastik di dalam polutan PM_{10} pada *basement* dan laboratorium UII. Uji analisis dilakukan dengan metode dari penelitian (Akhbarizadeh et al., 2021).

1.6 Kerangka Berpikir

Berikut adalah kerangka berpikir yang berisi rangkuman seluruh penelitian ini yaitu bentuk identifikasi masalah dan menjadi tujuan dari penelitian ini, rangkuman ini dalam bentuk gambar, dapat dilihat pada Gambar 1. 1



Gambar 1. 1 Kerangka berpikir

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Pencemaran Udara Dalam Ruangan

Udara dalam ruang atau *indoor air* adalah udara yang berada di dalam gedung yang berkaitan dengan kesehatan penghuni di dalamnya (Permenakes, 2023). Kualitas udara dalam ruang berkaitan dengan ventilasi udara, kepadatan penghuni, ada atau tidak adanya paparan asap rokok di dalam ruang, paparan bahan kimia dari *furniture*, cat dan bahan pembersih ruangan, serta adanya aktivitas yang menghasilkan debu atau gas di dalam ruang (Mahalastri, 2014). Berdasarkan (Mukono, et al., 2005) pencemaran udara di *indoor* dapat disebabkan dari bahan bangunan yang meliputi formaldehid, lem, asbes, *fibreglass*, selain itu adanya pencemaran dari luar gedung yang masuk ke dalam gedung seperti gas buang kendaraan yang lokasinya berdekatan dengan gedung. Pencemaran udara indoor juga dapat terjadi pada ruang bawah tanah. Ruang bawah tanah yang difungsikan sebagai tempat parkir kendaraan dapat timbul pencemaran udara. Salah satu pencemar udara yang dapat muncul adalah PM_{10} .

2.2 Particulate Matter (PM_{10})

Partikulat adalah campuran dari partikel padat dan tetesan cairan dalam udara. Partikulat terbagi menjadi 2 berdasarkan ukurannya yaitu $PM_{2,5}$ berdiameter 2,5 mikrometer atau lebih kecil dan PM_{10} berdiameter 10 mikrometer atau lebih kecil. Sumber alami PM_{10} dapat berasal dari tanah, virus, bakteri, jamur, serbuk sari, dll. Selain dari sumber alami, PM_{10} juga dihasilkan oleh aktivitas manusia seperti kendaraan motor, kebakaran, industri dan tenaga listrik (Syam, et al., 2021). Pada area dalam ruangan (*indoor*) yang tidak memiliki sirkulasi udara yang baik akan membuat PM_{10} , virus, bakteri dan polutan lainnya dapat bertahan di dalam ruangan dan terakumulasi sehingga menjadi lebih berbahaya bagi kesehatan tubuh manusia (Li, et al, 2024). Sumber PM_{10} di *indoor* dapat dibagi menjadi 3 yaitu berasal dari masuknya PM_{10} di luar ruangan ke dalam ruangan, berasal dari dalam ruangan itu

sendiri, dan dapat berasal dari konversi gas yang terbentuk menjadi PM₁₀ di dalam ruangan dan di luar ruangan.

Peraturan Permenkes No 2 Tahun 2023 Tentang Kesehatan Lingkungan mengatur nilai standar baku mutu lingkungan untuk PM₁₀ di *indoor* 70µg/m³ dengan batas tertinggi selama 24 jam. Pengambilan sampel PM₁₀ dapat dilakukan dengan alat LVAS dan HVAS. *Low Volume Air Sampler* (LVAS) adalah alat yang digunakan untuk mengukur konsentrasi partikulat dalam jumlah yang kecil dengan pompa udara berkecepatan 1-10 L/menit dan digunakan pada skala yang kecil. Sehingga alat ini lebih cocok untuk skala area yang lebih kecil seperti dalam ruangan. Sedangkan *High Volume Air Sampler* (HVAS) adalah alat untuk mengukur partikulat dalam jumlah yang lebih besar dengan kecepatan pompa udaranya yaitu 500-1500 L/menit dan biasanya digunakan pada skala yang lebih besar seperti untuk udara ambien

Konsentrasi PM₁₀ di dalam ruangan dipengaruhi oleh kegiatan manusia, adanya pergerakan manusia menimbulkan adanya pengendapan partikel, serta dipengaruhi oleh faktor meteorologis seperti suhu, kelembaban, perbedaan tempat atau heterogenitas secara spasial dapat mempengaruhi konsentrasi partikulat. Selain itu kondisi cuaca juga dapat mempengaruhi konsentrasi partikel debu di udara dapat meningkat atau menurun. Ketika kondisi hujan, konsentrasi PM₁₀ akan menurun karena hujan dapat membersihkan pencemar di udara. Sebaliknya, pada saat matahari terik dan pada jangka waktu yang panjang seperti musim kemarau menyebabkan konsentrasi PM₁₀ di udara cenderung meningkat (Hidayati, et al., 2017). Partikulat tersuspensi di udara di dalam ruangan dapat membawa patogen infeksius (Peiyang, et al., 2024).

2.3 Dampak PM₁₀ Terhadap Kesehatan Manusia dan Lingkungan

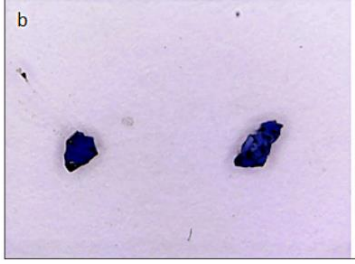
Konsentrasi PM₁₀ yang melebihi batas maksimum yang diperbolehkan pada peraturan tersebut dapat membahayakan kesehatan manusia dan lingkungan. PM₁₀ pada *indoor* sangat berbahaya bagi manusia karena ukurannya yang cukup besar jika dibandingkan dengan PM_{2,5}. Partikel debu berukuran <10 µm termasuk debu yang dapat terhirup atau inhalable sehingga PM₁₀ dapat menjangkau tenggorokan

dan sistem pernapasan manusia bagian atas yaitu rongga hidung, faring dan laring (NASA, 2020). Dampak pada lingkungan akibat PM₁₀ menurut (EPA, 2024) yaitu dapat membuat danau dan sungai menjadi asam, mengubah keseimbangan nutrisi di perairan pesisir dan daerah aliran sungai besar, menguras nutrisi dalam tanah, dapat merusak hutan sensitif dan tanaman pertanian, dapat mempengaruhi keanekaragaman ekosistem, dan dapat berkontribusi terhadap efek hujan asam.

2.4 Mikroplastik

Jenis plastik berdasarkan ukuran yaitu nanoplastik (<1 µm), mikroplastik (<0,5 cm), mesoplastik (0,5-5 cm), makroplastik (5-50 cm), dan megaplastik (>50 cm). Mikroplastik (MPs) memiliki bentuk yang berbeda-beda dengan dimensi <5 mm. Menurut (Frias and Nash, 2019) mikroplastik merupakan partikel solid sintesis dengan berbagai bentuk dengan ukuran dari 1 µm sampai 5 mm. Bentuk mikroplastik dapat berupa *pellets*, *fibers*, *films*, *foam*, *fragments* dan *microbeads*. Selain dari bentuk dan ukurannya, mikroplastik dapat diklasifikasikan berdasarkan sumbernya yaitu sumber primer dan sumber sekunder. Sumber primer yaitu *microbeads* yang digunakan pada kosmetik, serat *microfiber* yang lepas dari pakaian dan kain lain ketika mencuci, serta terbentuknya partikel berukuran mikro yang berasal dari ban karet yang telah aus. Mikroplastik primer adalah yang dilepaskan ke lingkungan berukuran mikro. Sumber mikroplastik sekunder berasal dari degradasi plastik di lingkungan yang terbentuk dari proses pelapukan seperti degradasi dari *photo-oxidation*, *chemical weathering* dan *biological decomposition* (Ageel, et al., 2022). Berdasarkan (Pratiwi, 2020) warna yang ditemukan pada mikroplastik di udara yaitu hitam, merah, biru, kuning, putih, hijau. Sedangkan pada penelitian (Torres-Agullo et al., 2022) ditemukan mikroplastik berbentuk fiber dengan warna abu-abu, kuning, biru dan ditemukan berbentuk fragmen berwarna oranye, kuning, coklat, abu-abu, dan transparan. Berikut adalah bentuk dan jenis mikroplastik dan sumbernya (Pratiwi, 2020):

Tabel 2. 1 Klasifikasi mikroplastik berdasarkan bentuk

Klasifikasi Bentuk Mikroplastik	Bentuk Mikroplastik
Fragmen berbentuk pecahan yang berasal dari potongan plastik atau pecahan plastik.	
Fiber/ Serat adalah mikroplastik berbentuk serat memanjang dan berasal dari proses fragmentasi monofilamen jaring ikan, tali dan bahan sintesis.	
Film adalah mikroplastik berbentuk lembaran yang berasal dari fragmentasi kantong plastik dan memiliki densitas rendah.	
Pellet memiliki bentuk bulat biasanya berasal dari sumber mikroplastik primer misalnya dari industri yang menggunakan pellet plastik	

Sumber: (Bahrina et al., 2020)

Pada penelitian (Bhat, 2024) ditemukan mikroplastik di udara pada berbagai ruangan di universitas, yaitu berbentuk *pellets*, *fibers*, *films*, *foam*, *fragments* dan *line* dengan warna yang beragam yang ditunjukkan pada Gambar 2. 1

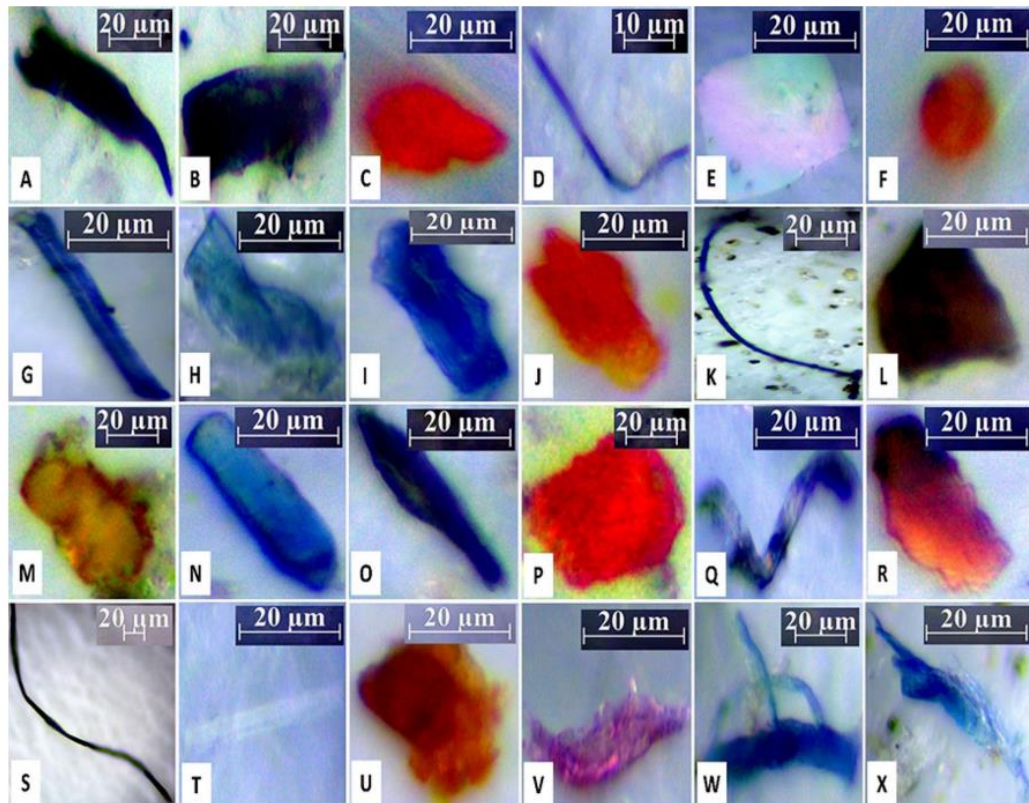


Fig. 1 Examples of some ambient microplastics found in the university indoor environments and classified by shape and color (A, B, C, I, J, L, N, O, P, R): Black, red, and blue fragments, (D, G, K, Q, S, W): Blue and black fibers, (E, H, V, X): Transparent, blue, and magenta, films, (F) Red pellet, (M, U) Brown and red foam, (T): Transparent line

Sumber: (Bhat, 2024)

Gambar 2. 1 Contoh bentuk mikroplastik

Pada Gambar 2. 1 mikroplastik yang termasuk pada bentuk fragmen adalah **A** (hitam), **B** (hitam), **C** (merah), **I** (biru), **J** (merah), **L** (hitam), **N** (biru), **O** (biru), **P** (merah), dan **R** (merah). Bentuk fiber adalah **D** (biru), **G** (biru), **K** (biru), **Q** (hitam), **S** (hitam), dan **W** (biru). Bentuk film yaitu **E** (transparan), **H** (biru), **V** (magenta),

dan X (biru). Bentuk pellet yaitu F (merah). Bentuk foam yaitu M (coklat) dan U (merah). Dan yang terakhir berbentuk line yaitu pada gambar T (transparan).

2.5 Proses Transport Mikroplastik

Pada penelitian (Napper, et al., 2023) ditemukan mikroplastik di udara, sedimen dan air, setiap media memiliki pola yang berbeda terhadap kelimpahan mikroplastik yang ditemukan. Proses transport atau perpindahan mikroplastik di udara dapat berpindah dengan mudah karena bobotnya yang ringan, daya tahan dan lainnya sehingga mikroplastik di udara ini juga mudah diendapkan melalui pengendapan kering atau pengendapan basah. Penyebaran mikroplastik dari sumbernya melalui atmosfer ke daratan atau laut dipengaruhi oleh angin, hujan salju, pelapukan (Zhang, et al., 2020). Plastik yang terdegradasi di lingkungan menjadi berukuran kecil dan ringan terbawa angin dan menjadi terbang ke udara. Selain itu, mikroplastik yang berada di sungai atau drainase, ketika musim kemarau akan menjadi kering dan mikroplastik yang berada di sedimen dapat terbang ke udara melalui debu dari tanah atau sedimen tersebut. Sedangkan keberadaan mikroplastik di udara tidak berkaitan dengan polutan lainnya seperti PM₁₀, CO, NO_x, SO_x, dll, karena adanya perbedaan komposisi, sifat dan perilaku diantara keduanya (Costa-Gómez et al., 2023). Hal ini juga didukung oleh (Zhu et al., 2021) bahwa tidak ditemukan hubungan antara mikroplastik dengan indeks kualitas udara lainnya, sifat dan pola spasial antara MPs dengan polutan udara lainnya berbeda.

2.6 Dampak Mikroplastik Terhadap Kesehatan

Polusi mikroplastik di udara terbagi di area *indoor* dan area *outdoor*. Paparan mikroplastik dengan jangka waktu yang lama dapat berbahaya bagi kesehatan manusia. Pada penelitian (Sheraz, et al., 2023) ditemukan bahwa mikroplastik dapat masuk ke tubuh manusia melalui *inhalation*, hal ini dapat menyebabkan inflamasi paru-paru. Setelah MPs dikonsumsi oleh organisme, terdapat bahaya serius pada fisik dan psikologi yang terjadi di tubuh manusia, termasuk obstruksi atau penyumbatan, inflamasi atau peradangan, penurunan tingkat pertumbuhan,

stres oksidatif dan komplikasi reproduksi (Xinran, et al., 2023). Mikroplastik tersebut dapat masuk ke sistem pernapasan dengan mudah dan masuk ke jaringan paru-paru. Analisis yang telah dilakukan membuktikan bahwa partikel mikroplastik yang ditemukan paling banyak adalah jenis PP dan PE di paru-paru. Dengan mengidentifikasi polimer-polimer pada paru-paru menunjukkan keterkaitan dengan paparan di *indoor*, karena sebagian besar masyarakat menghabiskan waktunya lebih banyak di *indoor* daripada di *outdoor*.

Paparan mikroplastik melalui udara terbukti sebagai kontributor primer yang menyebabkan kanker paru-paru dan penyakit lainnya pada manusia. Penyakit tersebut meliputi reaksi asma langsung, peradangan, dan fibrosis (seperti sinusitis kronis), penyakit paru-paru (seperti alveolitis inflamasi kronis dan asma persisten), sarkoidosis paru, timbulnya penyakit paru-paru interstisial (yang dapat menyebabkan sesak napas, gangguan pernapasan, dan penurunan fungsi paru-paru), stres oksidatif, dan produksi spesies oksigen reaktif atau *Reactive Oxygen Species* (ROS). Hal ini dapat menyebabkan gangguan sel (efek sitotoksik) dan autoimun (Habibi et al., 2022).

Pada penelitian (Kushani, 2023) ini juga ditemukan mikroplastik di dalam ruangan pada lokasi pengujian yaitu sekolah, penitipan anak, kantor, rumah, rumah dengan penghuni lanjut usia (lansia), restoran dan di area luar ruangan. Dari hasil penelitiannya, ditemukan bahwa jumlah mikroplastik tertinggi ditemukan di penitipan anak, kemudian diikuti kantor, sekolah, rumah dengan penghuni lansia, restoran, rumah, dan yang terakhir adalah area di luar ruangan (*outdoor*). Dari hasil kelimpahan mikroplastik di titik lokasi tersebut diketahui bahwa jumlah mikroplastik di area luar ruangan adalah yang terkecil, hal ini menunjukkan bahwa paparan mikroplastik di dalam ruangan lebih besar daripada di luar ruangan.

2.7 Penelitian Terdahulu

Penelitian dilakukan berdasarkan referensi penelitian yang pernah dilakukan sebelumnya. Berikut adalah penelitian yang menjadi referensi:

Tabel 2. 2 Penelitian terdahulu

No	Penulis	Tahun	Judul	Hasil
1.	Youn-Suk Son	2023	<i>A review on indoor and outdoor factors affecting the level of particulate matter in classrooms of elementary schools.</i>	Konsentrasi PM korelasinya dengan berbagai faktor seperti aktivitas, jenis ruangan, usia bangunan, jumlah ventilasi, faktor lingkungan <i>indoor</i> dan <i>outdoor</i> , dll di sekolah dasar.
2.	Kushani Perera, Shima Ziajahromi, Susan Bengtson Nash, Frederic D.L. Leusch.	2023	<i>Microplastics in Australian indoor air: Abundance, characteristics, and implications for human exposure.</i>	Alat pengambil sampel udara menggunakan baja tahan karat dengan kecepatan udara masuk sekitar $100 \pm 0,1$ L/menit dan titik masuk berdiameter 6 cm. Saringan baja tahan karat berukuran $1 \mu\text{m}$ dipasang pada alat untuk menyaring udara yang disedot. Unit ini terhubung ke pompa vakum dua tahap melalui tabung PVC, dengan aliran udara yang diukur, dan ditempatkan di atas

No	Penulis	Tahun	Judul	Hasil
				penyangga logam setinggi 1,2 m untuk mensimulasikan ketinggian rata-rata pernapasan manusia saat duduk. Tiga kali pengambilan sampel dilakukan secara berurutan selama 2 jam, dengan total 6 jam di setiap lokasi, di mana setiap kali pengambilan sampel menyaring sekitar 12 m ³ udara.
3.	Järlskog I, Jaramillo-Vogel D, Rausch J, Gustafsson M, Strömvall AM, Andersson-Sköld Y.	2022	<i>Concentrations of tire wear microplastics and other traffic-derived non-exhaust particles in the road environment.</i>	<i>Tire Wear Particles</i> (TWP) menunjukkan sebagian besar perannya sebagai sumber mikroplastik dari permukaan jalan ke air hujan dan udara, selain itu semakin dekat dengan sumber (permukaan jalan, jalan raya, dll) maka semakin banyak partikel berat seperti mineral yang terkandung dalam sampel.
4.	Joana C. Prata, Joana L. Castroa, João P. da Costa Armando C. Duarte, Mário Cerqueira, Teresa Rocha-Santos	2020	<i>An easy method for processing and identification of natural and synthetic microfibers and microplastics in indoor and outdoor air</i>	Termasuk penelitian yang menggunakan <i>active sampling</i> kemudian menggunakan micro-FTIR untuk identifikasi karakteristik kimia. Pada penelitian ini digunakan 4 fase untuk preparasi sampel, (fase 1) pengambilan sampel dilakukan selama 48 jam. (fase 2) sampel dipindahkan dengan mencuci <i>quartz fiber filters</i> ke gelas beaker dimana H ₂ O ₂ ditambahkan untuk mencapai konsentrasi 15% dan 5. didiamkan selama 8

No	Penulis	Tahun	Judul	Hasil
				hari untuk menghilangkan bahan organik. (fase 3) Kemudian larutan di saring dan sampel dipindahkan untuk mencapai pemisahan densitas dengan Nal $1,6 \text{ g/cm}^3$, untuk menghilangkan partikel dengan densitas lebih tinggi seperti bahan anorganik. (fase 4) tahap terakhir fiber filter disaring, dikeringkan dan di lihat dengan mikroskop.
5.	Rini Hidayati, Septina Tri Anggiani dan Ikoh Maufikoh	2017	Analisis Kejadian Penyakit Infeksi Saluran Pernapasan Akut (ISPA) berdasarkan Kondisi Iklim dan Konsentrasi PM_{10} di Wilayah Jakarta Barat	Dampak PM_{10} terhadap kesehatan manusia dan korelasi faktor meteorologis dengan konsentrasi PM_{10} di udara.
6.	Akhbarizadeh, R., Dobaradaran, S., & Torkmahalleh, M. A	2020	<i>Aromatic hydrocarbons (PAHs) in air : Their possible relationships and health implications.</i>	Sampel mikroplastik dicuci dengan menggunakan alat <i>ultrasonic bath</i> , kemudian dibersihkan (digestion) dari bahan organik menggunakan hydrogen peroksida 30% kemudian proses pemisahan mikroplastik dengan bahan lainnya (density separation) dengan kalium iodide.

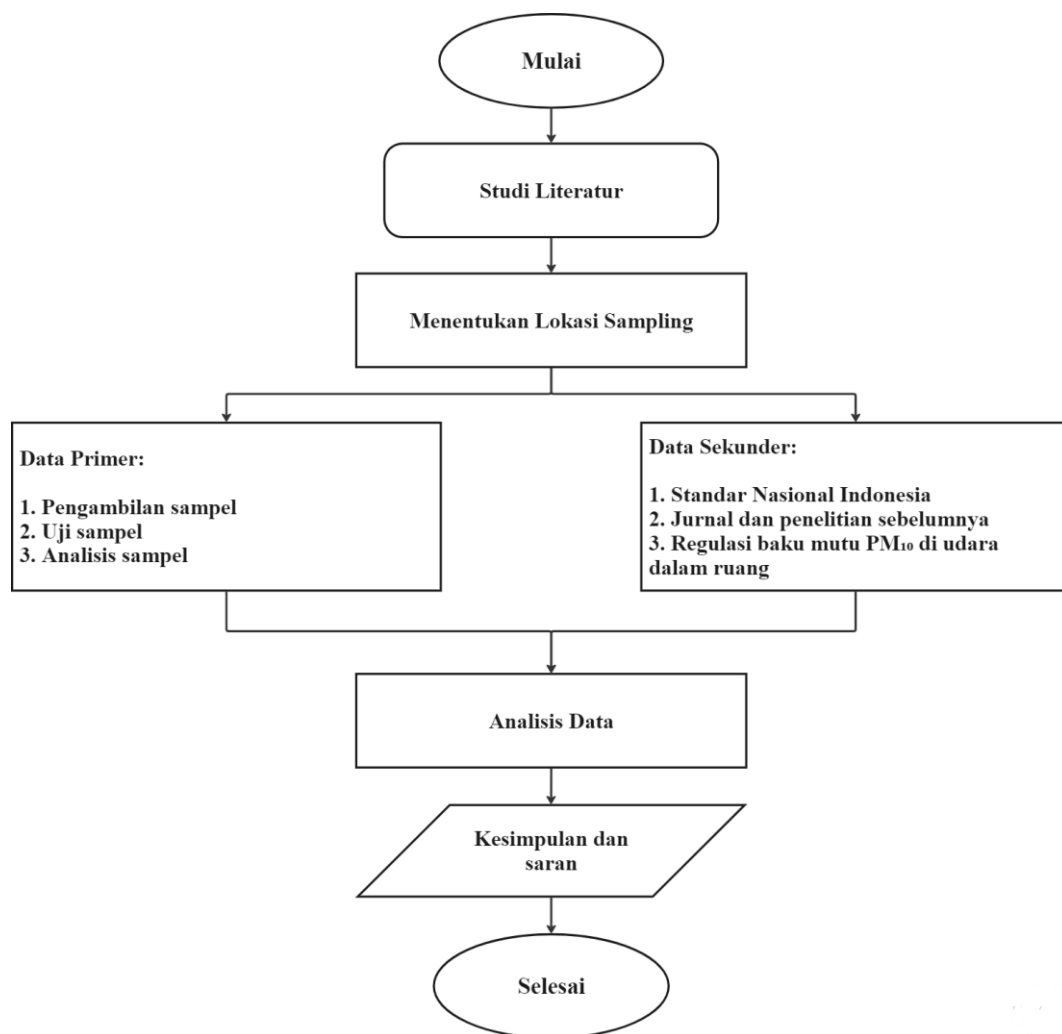
No	Penulis	Tahun	Judul	Hasil
				Sampel di vakum dan disaring dengan kertas filter whatman dengan <i>pore size</i> 0,45 µm kemudian diidentifikasi dengan mikroskop Carl Zeiss Primo Star iLED fluorescence microscope (Germany)

BAB III

METODE PENELITIAN

3.1 Diagram Alir Penelitian

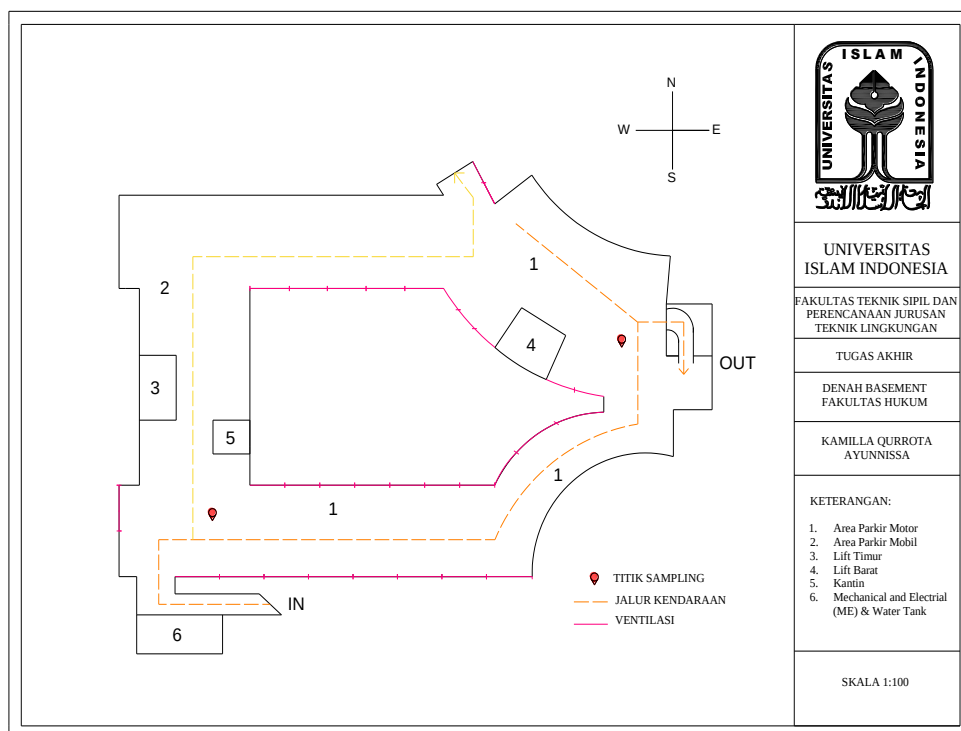
Prosedur penelitian yang akan dilakukan digambarkan dalam bentuk diagram alir sebagai berikut:



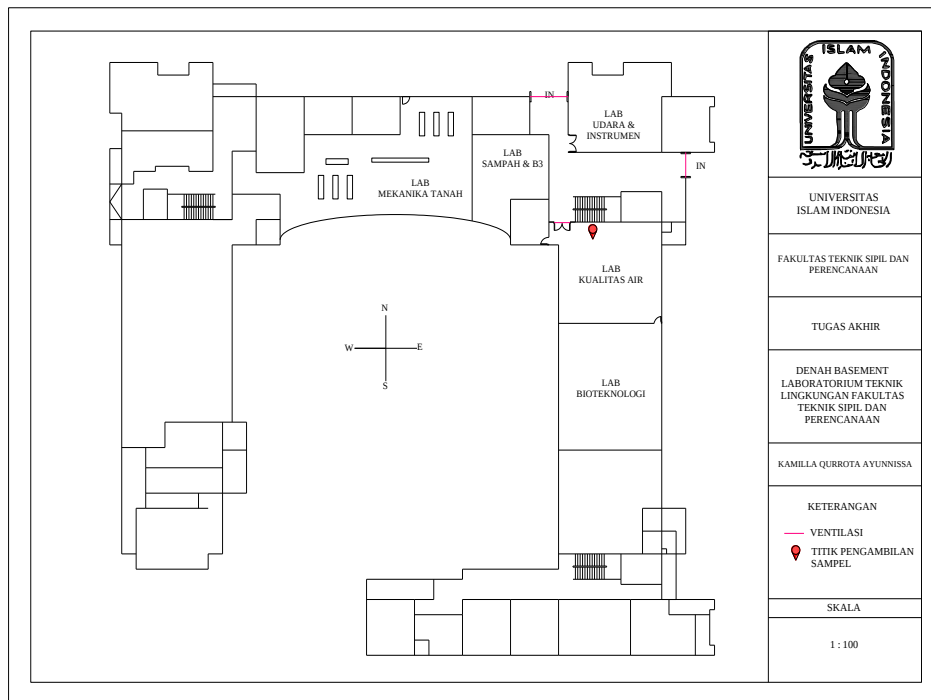
Gambar 3. 1 Diagram alir penelitian

3.2 Waktu dan Lokasi

Penelitian ini dilakukan di Fakultas Hukum UII dan Laboratorium Teknik Lingkungan (TL) pada 3 titik pengambilan sampel yaitu dengan 2 titik di lokasi Fakultas Hukum yang ditunjukkan pada Gambar 3.2 dan 1 titik di Laboratorium TL ditunjukkan pada Gambar 3.3. Pemilihan titik per lokasi *basement* dan laboratorium dipilih berdasarkan SNI 7230 – 2009 tentang Teknik Penentuan Titik Pengambilan Sampel Udara Di Tempat Kerja. Pemilihan titik lokasi di *basement* juga mempertimbangkan adanya manusia yang secara berkala melewati area tersebut dan ada yang berjaga pada pintu masuk dan pintu keluar, serta pemilihan titik lokasi di laboratorium dipilih mempertimbangkan ramainya aktivitas pembelajaran seperti praktikum. Sesuai dengan SNI 16-7058-2004 tentang Pengukuran Kadar Debu Total di Udara Tempat Kerja, sampling dilakukan selama 1 x 8 jam kerja dengan metode pengukuran Gravimetri. Pengambilan sampel akan dilakukan selama 3 hari dengan setiap titik diambil sampel pada hari kerja atau *weekdays*. Setiap pengambilan sampel dilakukan selama 8 jam kerja yaitu dari pukul 08.00 - 16.00 WIB.



Gambar 3. 2 Titik pengambilan sampel di Fakultas Hukum



Gambar 3. 3 Titik pengambilan sampel di Laboratorium Teknik Lingkungan

3.3 Alat dan Bahan

3.3.1 Alat dan Bahan Pengambilan Sampel

Pengambilan sampel PM_{10} menggunakan alat LVAS sesuai pada SNI 16-7058-2004 dengan metode gravimetri. Berikut adalah alat dan bahan yang digunakan sesuai dengan SNI 16-7058-2004:

Tabel 3. 1 Alat Sampling

No.	Nama Alat	Keterangan
1.	LVAS lokal	Alat pengukuran partikel di udara
2.	Flowmeter	Alat ukur laju kecepatan udara
3.	Tripod	Alat penyangga LVAS
4.	Hygro - Thermometer	Alat ukur kelembapan dan suhu

Tabel 3. 2 Bahan Sampling

No.	Nama Bahan	Keterangan
1.	Filter serat kaca (glass fiber filter) Adventec berukuran 110 mm	Sebagai media penyaringan partikel pada alat LVAS

3.3.2 Alat dan Bahan Pengujian Sampel

Pengujian sampel dilakukan di laboratorium udara dan biotek. Pengujian sampel di laboratorium udara untuk penimbangan berat kertas filter sebelum dan sesudah pengambilan sampel. Sedangkan pengujian sampel di laboratorium biotek untuk preparasi, destruksi dan analisa sampel mikroplastik. Berikut adalah alat dan bahan yang diperlukan:

Tabel 3. 3 Alat Pengujian

No.	Nama Alat	Keterangan
1.	Gelas Beaker 500 ml	Sebagai wadah sampel dan larutan
2.	Gunting stainless steel	Alat untuk membagi kertas filter
3.	Ultrasonic Bath	Alat untuk membersihkan sampel dengan gelombang sonik
4.	Oven	Alat untuk mengeringkan sampel pada suhu dan waktu tertentu
5.	Magnetic Stirrer	Alat untuk mengaduk sampel dengan larutan <i>density separator</i>
6.	Pompa Vakum	Alat untuk menyedot larutan sampel pada kertas filter sebagai media
7.	Mikroskop	Alat untuk identifikasi sampel mikroplastik secara visual
8.	Corong Gelas	Alat untuk memudahkan memindahkan larutan
11.	Desikator	Alat yang digunakan untuk menghilangkan kadar air pada kertas filter
12.	Gelas Ukur 100 ml	Alat yang digunakan untuk mengukur volume larutan sebanyak 100 ml.
13.	Neraca Analitik	Alat timbangan untuk menimbang kertas filter dengan tingkat presisi yang tinggi
14.	FTIR (Fourier-Transform Infrared Spectroscopy)	FTIR digunakan untuk mengidentifikasi jenis polimer pada sampel mikroplastik

Tabel 3. 4 Bahan Pengujian

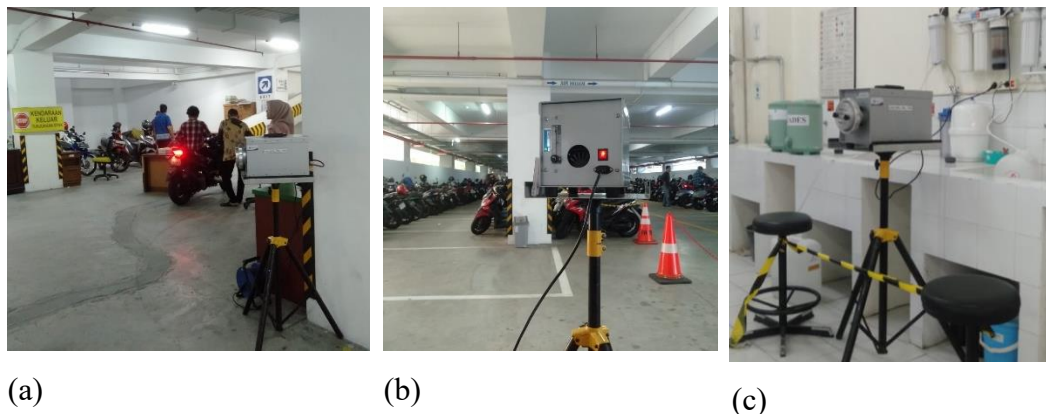
No.	Nama Bahan	Keterangan
1.	Filter Whatman 47 mm	Kertas saring untuk media sampel mikroplastik
2.	Aquades	Air distilasi untuk membilas sampel dan untuk membersihkan pengotor
3.	Hidrogen Peroksida (H ₂ O ₂) 30% 100 ml	Larutan untuk memisahkan bahan organik pada sampel
4.	Seng Klorida (ZnCl ₂) 1,6g /cm ³ 5% 50 ml	Sebagai larutan untuk metode <i>density separation</i>

3.4 Pengumpulan Data

3.4.1 Data Primer

3.4.1.1 Pengambilan Sampel

Sampel yang digunakan adalah sampel udara dengan parameter *particulate matter* berdiameter 10 (PM₁₀) pemilihan parameter tersebut sebagai media untuk mengetahui jumlah, bentuk dan warna mikroplastik. Sesuai pada Permenakes Nomor 2 Tahun 2023 baku mutu polutan pada udara di dalam ruangan (indoor) untuk partikel hanya PM₁₀. Pengambilan sampel akan dilakukan selama 3 hari pada *weekdays* dengan 2 titik lokasi yang sudah dipilih di Fakultas Hukum dan 1 titik di Laboratorium Teknik Lingkungan menggunakan alat LVAS. Pada Gambar 3. 4 menunjukkan titik lokasi pengambilan sampel.



Gambar 3. 4 Lokasi pengambilan sampel (a) Pintu keluar FH, (b) Pintu masuk FH, (c) Lab Air Teknik Lingkungan

1) Particulate Matter (PM_{10})

Standar yang digunakan dalam pengambilan sampel PM_{10} merujuk pada SNI 16-7058-2004 Tentang Pengukuran Kadar Debu Total Di Udara Tempat Kerja. Metode yang digunakan dalam pengukuran debu adalah metode gravimetri. Metode gravimetri adalah metode analisis kuantitatif berdasarkan beratnya, meliputi tahapan persiapan, pengambilan sampel, penimbangan dan perhitungan kadar debu total.

Pengambilan sampel menggunakan alat LVAS (Low Volume Air Sampler), prinsipnya alat ini akan diletakkan pada titik pengukuran setinggi zona pernafasan dan dilakukan selama 1 x 8 jam sesuai dengan jam kerja di lokasi pengambilan sampel yaitu basement dan laboratorium UII. Bersamaan dengan pengambilan sampel PM_{10} juga dilakukan pengecekan suhu dan kelembapan dengan thermometer dan hygrometer yang dilakukan setiap jam. Pengambilan sampel memerlukan kertas filter sebagai penyaring debu pada alat LVAS, kertas filter harus memperoleh berat konstan sebelum digunakan dalam pengambilan sampel. Alat LVAS diletakkan pada titik pengukuran secara spesifik di dekat tenaga kerja, setinggi zona pernafasan tenaga kerja tersebut. Pompa hisap pada alat diatur pada kecepatan laju alir 10 L/menit. Setelah pengambilan sampel, kertas filter

dimasukkan pada *holder* yang sudah dibersihkan. Kemudian filter dimasukkan ke dalam desikator selama 24 jam.

Kertas filter setelah pengambilan sampel berupa kertas filter sampel dan kertas filter blanko ditimbang untuk mengetahui kadar debu total. Pada penelitian ini digunakan kertas filter blanko laboratorium sebagai kontrol pada penelitian. Untuk mendapatkan kadar debu total diperlukan data berat filter sampel sebelum dan sesudah pengambilan sampel, serta berat filter blanko sebelum dan sesudah pengambilan sampel. Dan diperlukan volume udara pada waktu pengambilan sampel.

2) Mikroplastik (MPs)

Pengambilan sampel mikroplastik dilakukan secara bersamaan dengan pengambilan debu. Pengambilan sampel MPs dapat dilakukan secara pasif dan aktif. Pengambilan sampel secara pasif dapat dilakukan dengan menyapu debu, menggunakan *box sampler*, *collection bottle*, *receiving tube*, dan lainnya, prinsip dari pengambilan sampel secara pasif ini adalah mengumpulkan debu dan mikroplastik yang akan mengendap ke permukaan dasar. Salah satu contohnya adalah penelitian oleh (Pratiwi, 2020) yang menggunakan *box sampler* berbahan kaca sebagai pengumpul sampel debu dan mikroplastik secara pasif dan penelitian oleh (Vasco Almeida Silva Valente et al., 2020) yang menggunakan cawan petri (petri dish) sebagai penangkap mikroplastik. Sedangkan prinsip dari pengambilan sampel secara aktif adalah menyedot debu yang masih melayang dalam udara dibandingkan yang mengendap (Ahmad et al., 2023).

Pengambilan sampel aktif dapat dilakukan dengan menyedot mikroplastik dengan vakum, pompa vakum, *air sampling pump*, dan lainnya. Salah satunya adalah pada penelitian (Bahrina et al., 2020) yang menggunakan alat penyedot debu (vacuum cleaner) dan pada penelitian (Bhat, 2024) yang menggunakan pompa untuk mengambil udara dan didukung dengan filter polytetrafluoroethylene (PTFE). Pada penelitian ini digunakan *active sampling* atau pengambilan sampel secara aktif menggunakan alat LVAS (Low Volume Air Sampler). Pengambilan sampel

mikroplastik dilakukan bersamaan dengan pengambilan sampel *particulate matter* yang dilakukan selama jam kerja yaitu selama 8 jam.

3.4.1.2 Pengujian Sampel

Pengujian sampel dilakukan menggunakan metode berdasarkan penelitian (Akhbarizadeh et al., 2021) karena belum adanya standar pengujian mikroplastik di udara yang ditetapkan. Dari penelitian tersebut dimodifikasi sesuai dengan sampel yang didapatkan. Kertas sampel dengan parameter PM₁₀ akan dipotong menjadi 4 bagian kemudian dimasukkan ke dalam gelas beaker dan ditambahkan aquades sebanyak 50 ml, setelah itu gelas beaker dimasukkan ke dalam *ultrasonic bath* selama 40 menit. Proses ini bertujuan untuk membersihkan sampel dari kotoran yang menempel pada kertas saring.



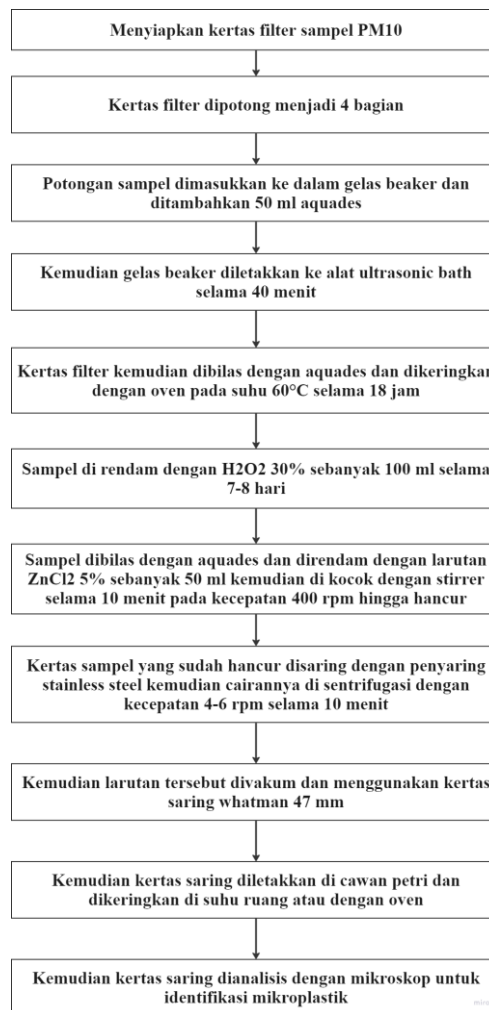
Gambar 3. 5 Proses membersihkan sampel dengan ultrasonic bath

Kemudian kertas filter dikeluarkan dari gelas beaker dan dibilas dengan aquades untuk membersihkan kotoran yang masih menempel di kertas filter. Selanjutnya, sampel di oven pada suhu 60°C selama 18 jam, kemudian sampel direndam dengan larutan H₂O₂ 30% sebanyak 100 ml selama 7-8 hari. Proses perendaman sampel dengan larutan H₂O₂ berguna untuk menghilangkan kandungan organik pada sampel dan agar mempermudah pembacaan mikroplastik.



Gambar 3. 6 Penghilangan bahan organik dengan H₂O₂

Setelah itu sampel dibilas dengan aquades, kemudian sampel ditambahkan larutan Seng Klorida (ZnCl₂) sebanyak 2,5 gram/sampel dalam 50 ml aquades dengan densitas Seng Klorida sebesar 1,6g/cm³ setelah itu dikocok selama 10 menit dengan stirrer pada kecepatan 400 rpm dan didiamkan selama 1 jam yang berfungsi sebagai *density separator* untuk memisahkan mikroplastik dari komponen lainnya. Kemudian larutan disaring dan disentrifugasi selama 10 menit dengan kecepatan 4 sampai 6 rpm. Kemudian larutan disaring dengan vakum menggunakan kertas saring Whatman GF/C CAT No. 1822-07 berdiameter 47 mm dan didiamkan pada suhu ruang selama 24-48 jam untuk dilakukan analisis mikroplastik menggunakan mikroskop. Berikut adalah hasil dari modifikasi uji sampel yang telah dijelaskan sebelumnya dalam bentuk diagram alir.



Gambar 3. 7 Diagram alir pengujian sampel mikroplastik

3.4.1.3 Analisa Sampel

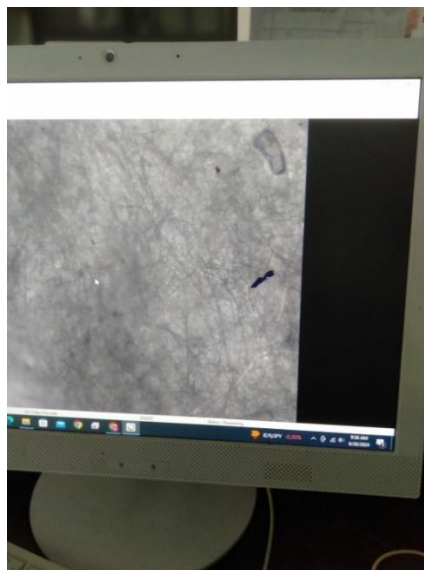
1) *Particulate Matter* (PM₁₀)

Analisa sampel PM₁₀ mengacu pada SNI 16-7058-2004 tentang pengukuran debu total di tempat kerja. Kertas filter dari sampling diletakkan pada amplop dan dimasukkan pada wadah tertutup agar terhindar dari kontaminasi selama perjalanan dari lokasi sampling sampai laboratorium untuk penimbangan. Kertas filter dimasukkan ke dalam desikator minimal selama 10 menit untuk menghilangkan kadar air pada kertas sebelum ditimbang, hal ini berfungsi agar hasil timbangan memiliki berat stabil. Penimbangan sampel dilakukan sebelum dan sesudah tahap pengambilan sampel untuk mendapatkan nilai konsentrasi PM₁₀. Penimbangan

kertas filter menggunakan neraca analitik dan dilakukan beberapa kali untuk mendapatkan data.

2) Analisa Mikroplastik Dengan Mikroskop

Sampel mikroplastik yang sudah kering kemudian dianalisis dengan mikroskop untuk mengidentifikasi mikroplastik berdasarkan warna dan jenis. Analisis sampel dengan menggunakan Mikroskop Olympus BX53 dan Olympus U-TV0.5XC-3 dengan perbesaran 4X dan 10X sesuai dengan kebutuhan. Untuk pengamatan pada mikroskop, kertas saring dibagi menjadi 4 kuadran dapat ditandai dengan alat tulis seperti pensil atau bolpoin. Mikroplastik yang didapat dari *screenshot* melalui mikroskop akan dihitung jumlahnya berdasarkan jenis dan warna pada setiap sampelnya.



Gambar 3. 8 Analisis mikroplastik dengan mikroskop

3) Analisa Mikroplastik Dengan Fourier—Transform Infrared Spectroscopy (FTIR)

Setelah analisa dengan mikroskop, selanjutnya sampel mikroplastik diidentifikasi jenis polimernya dengan FTIR. Spektroskopi FTIR mengukur radiasi

inframerah (IR) yang diserap oleh mikroplastik pada sampel, dengan pembacaan pada gugus fungsinya. Spektrum inframerah akan menunjukkan peak sesuai dengan frekuensi yang sesuai dengan polimer pada sampel mikroplastik. Angka peak yang terbaca pada gelombang akan diidentifikasi polimernya sesuai dengan peak acuan yang menunjukkan jenis polimer. FTIR dapat menganalisis sampel padat, cair dan juga gas (Veerasingam et al., 2021).

3.4.2 Data Sekunder

Data sekunder diperoleh dari regulasi dan standar yang berlaku di Indonesia. Pemilihan titik lokasi pengambilan sampel PM₁₀ menggunakan SNI 7230 – 2009 tentang Teknik Penentuan Titik Pengambilan Sampel Udara Di Tempat Kerja. Metode pengukuran PM₁₀ menggunakan SNI 16-7058-2004 tentang Pengukuran Kadar Debu Total di Udara Tempat Kerja. Serta regulasi yang mengatur standar baku mutu lingkungan untuk parameter PM₁₀ di udara dalam ruang yaitu pada Peraturan Menteri Kesehatan Nomor 2 Tahun 2023 Tentang Kesehatan Lingkungan. Penggunaan standar dan peraturan tersebut agar proses pada penelitian ini dapat dilakukan secara runtun dna sesuai dengan standar yang ditetapkan. Namun, pada pengujian sampel mikroplastik di udara belum ada standar metode pengujian yang bisa diacu. Sehingga, pada penelitian ini metode yang digunakan berasal dari penelitian sebelumnya yaitu oleh (Akhbarizadeh et al., 2021), karena proses pengujian sampel pada penelitian tersebut cukup lengkap dan tahapan tersebut juga dilakukan pada (Ahmad et al., 2023; Vasco Almeida Silva Valente et al., 2020). Namun, pada penelitian ini terdapat modifikasi sesuai dengan sampel yang didapatkan pada penelitian dan tujuan penelitian. Pada pengukuran arah angin dan kecepatan menggunakan data dari aplikasi Info BMKG dan “Wind Weather” karena keterbatasan ketersediaan alat dan dianggap bisa mewakili kondisi di lapangan. Kemudian data kecepatan angin dan arah angin akan diolah dengan aplikasi WRPLOT untuk membuat grafik “mawar angin”.

3.5 Pengolahan Data dan Analisa Data

1. Partikulat (PM₁₀)

Hasil pengukuran sampel konsentrasi PM₁₀ dengan alat LVAS akan dibandingkan dengan baku mutu yang berlaku yaitu Permenkes No 2 Tahun 2023 Tentang Kesehatan Lingkungan. Data perhitungan konsentrasi PM₁₀ menggunakan SNI 16-7058-2004 untuk mengetahui konsentrasi polutan dengan persamaan sebagai berikut:

$$C = \frac{(W2-W1)-(B2-B1)}{V} \times 10^3 \text{ (mg/m}^3\text{)}$$

Keterangan:

C : Kadar debu total (mg/ m³)

W2 : Berat filter sampel setelah pengambilan sampel (mg)

W1 : Berat filter sampel sebelum pengambilan sampel (mg)

B2 : Berat filter blanko setelah pengambilan sampel (mg)

B1 : Berat filter blanko sebelum pengambilan sampel (mg)

V : Volume udara pada waktu pengambilan sampel (l)

2. Identifikasi Mikroplastik

Analisis data mikroplastik pada PM₁₀ berupa kelimpahan mikroplastik dan akan diklasifikasikan sesuai dengan karakteristik dan warna. Proses identifikasi jumlah mikroplastik yaitu dengan membagi kertas sampel menjadi 4 kuadran dan setiap kuadran akan dihitung jumlah mikroplastik yang tertangkap melalui mikroskop. Kelimpahan mikroplastik didapatkan dengan pembagian total partikel dengan volume udara (m³/menit) pada persamaan 1 serta data akan ditampilkan dalam bentuk rasio total partikel per berat konsentrasi PM₁₀ (µg/m³) pada persamaan 2.

Persamaan 1:

$$\text{Kelimpahan Mikroplastik} = \frac{\text{Total Mikroplastik}}{\text{Volume Udara } (\frac{\text{m}^3}{\text{menit}})}$$

Persamaan 2:

$$\text{Rasio Kelimpahan Mikroplastik} = \frac{\text{Total Mikroplastik}}{\text{Konsentrasi PM}_{10} (\mu\text{g}/\text{m}^3)}$$

Data konsentrasi PM₁₀ dan data karakteristik mikroplastik yang telah diperoleh akan diolah secara statistik deskriptif, yaitu dengan menunjukkan data melalui grafik dan tabel sehingga mudah dipahami.

BAB IV

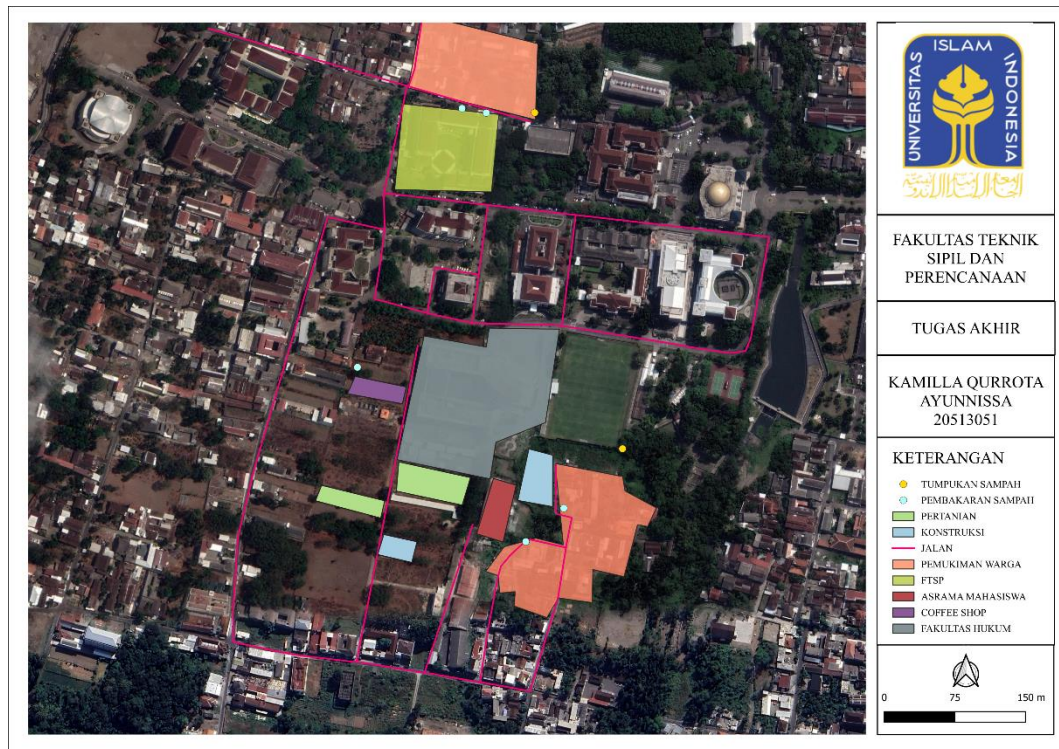
HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Detail Lokasi Sampling

Penelitian ini berlokasi di Fakultas Hukum dan Laboratorium Teknik Lingkungan Universitas Islam Indonesia, Yogyakarta. Pengambilan sampel dilakukan pada lantai ruang bawah tanah (*basement*) yang digunakan sebagai tempat parkir yaitu di Fakultas Hukum dan sebagai ruang laboratorium Teknik Lingkungan di Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan. Pemilihan lokasi penelitian sudah sesuai dengan SNI 7230 – 2009 tentang Teknik Penentuan Titik Pengambilan Sampel Udara Di Tempat Kerja. Pemilihan titik lokasi di *basement* juga mempertimbangkan adanya manusia yang secara berkala melewati area tersebut dan ada yang berjaga pada pintu masuk dan pintu keluar, serta pemilihan titik lokasi di laboratorium dipilih mempertimbangkan ramainya aktivitas pembelajaran seperti praktikum. Serta metode pengambilan sampel mengacu pada SNI 16-7058-2004 tentang Pengukuran Kadar Debu Total di Udara Tempat Kerja yaitu menggunakan LVAS (Low Volume Air Sampler) dengan Metode Gravimetri dan waktu pengambilan selama 8 jam kerja.

Pada lokasi pertama yaitu tempat parkir di Fakultas Hukum UII, terdapat dua titik. Pengambilan sampel dilakukan di pintu masuk dengan kode sampel A2 dan pintu keluar tempat parkir, tepatnya di pos jaga dengan kode sampel A1. Terkait aktivitas manusia disekitar lokasi yaitu adanya petugas parkir yang berjaga di pos jaga pintu masuk dan pintu keluar serta mahasiswa yang berlalu lalang di area parkir. Selain itu terdapat kantin di dekat pos jaga pintu masuk, sehingga tidak jarang mahasiswa berkumpul di area kantin tersebut, serta terdapat area berkumpul bagi para petugas parkir dan pegawai yang lewat. Pada lokasi kedua yaitu ruang laboratorium jurusan Teknik Lingkungan di Gedung Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan UII, pengambilan sampel dilakukan di ruang Laboratorium Air dengan kode sampel A3. Adapun aktivitas di ruangan tersebut yaitu terdapat kelas praktikum serta uji laboratorium mahasiswa tingkat akhir. Kondisi eksisting lokasi

pengambilan sampel di Laboratorium Teknik Lingkungan ditunjukkan pada gambar 4. 2; gambar 4. 3; gambar 4. 4 berikut:



Gambar 4. 1 Peta situasi area lokasi sampling



Gambar 4. 2 Titik A1 di pintu keluar basement Fakultas Hukum



Gambar 4. 3 Titik A2 di pintu masuk basement Fakultas Hukum



Gambar 4. 4 Titik A3 di Laboratorium Air Teknik Lingkungan

4.2 Analisis Hasil Uji Pengukuran PM_{10}

Pengambilan sampel *Particulate Matters* (PM) berdiameter <10 menggunakan alat LVAS yang dilengkapi dengan kertas *glass fiber filter* berukuran 110 mm sebagai media untuk menangkap partikel PM_{10} . Kertas filter ditimbang sebelum dan sesudah melakukan pengambilan sampel sesuai SNI 16-7058-2016 tentang pengukuran debu total di tempat kerja. Penimbangan berat kertas filter dilakukan bertujuan untuk menghitung berat total debu yang tertangkap sesuai dengan metode gravimetri. Pengambilan sampel dilakukan selama 8 jam kerja di tiap titik

lokasi, yaitu dari pukul 08.00 – 16.00 WIB. Pengukuran data variabel lingkungan seperti suhu, kelembapan dan laju alir pada alat dilakukan setiap 1 jam. Pengukuran suhu dan kelembapan dilakukan dengan Hygro-Thermometer digital. Data pengukuran suhu, kelembapan dan laju alir ditunjukkan pada tabel berikut:

Tabel 4. 1 Data faktor meteorologis A1

A1 - EXIT FAKULTAS HUKUM				
No	Flow meter (L/m)	Suhu (°C)	Kelembapan (%)	Pukul (WIB)
1	10	28.2	69	09:00
2	10	29.1	65	10:00
3	10	29.9	61	11:00
4	10	30.2	58	12:00
5	10	30.3	58	13:00
6	10	31.2	58	14:00
7	10	30.8	58	15:00
8	10	30.9	56	16:00
Rata-rata	10	30	60	

Tabel 4. 2 Data faktor meteorologis A2

A2 - ENTER FAKULTAS HUKUM				
No	Flow meter (L/m)	Suhu (°C)	Kelembapan (%)	Pukul (WIB)
1	10	26.4	70	09:00
2	10	27.3	68	10:00
3	10	27.8	67	11:00
4	10	28.4	61	12:00
5	10	28.5	60	13:00
6	10	28.5	60	14:00
7	10	29.3	61	15:00
8	10	29.1	65	16:00
Rata-rata	10	28	64	

Tabel 4. 3 Data faktor meteorologis A3

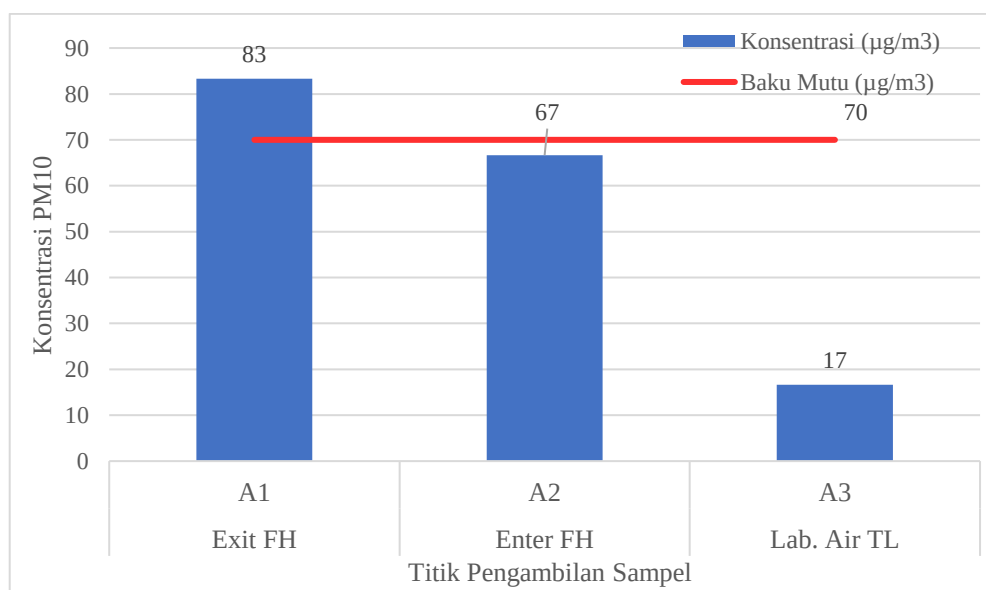
A3 - LABORATORIUM AIR TEKNIK LINGKUNGAN				
No	Flow meter (L/m)	Suhu (°C)	Kelembapan (%)	Pukul (WIB)
1	10	27.9	73	09:00
2	10	29.2	67	10:00
3	10	29.8	65	11:00

No	Flow meter (L/m)	Suhu (°C)	Kelembapan (%)	Pukul (WIB)
4	10	30	64	12:00
5	10	30.2	63	13:00
6	10	30.4	64	14:00
7	10	30.4	63	15:00
8	10	30.4	64	16:00
Rata-rata	10	30	65	

Hasil dari perhitungan konsentrasi PM₁₀ yang didapatkan dibandingkan dengan standar baku mutu lingkungan yang berlaku yaitu Permenkes nomor 2 Tahun 2023 Tentang Kesehatan Lingkungan. Berikut adalah hasil dari perhitungan konsentrasi PM₁₀ ditunjukkan pada Tabel 4. 4 dan Gambar 4. 5.

Tabel 4. 4 Konsentrasi PM₁₀

Konsentrasi PM ₁₀				
Sampel	Flowmeter (L/min)	Volume (m3)	Konsentrasi (µg/m3)	Baku Mutu (µg/m3)
A1	10	4.8	83	70
A2	10	4.8	67	70
A3	10	4.8	17	70



Gambar 4. 5 Grafik konsentrasi PM₁₀

Dari hasil perhitungan konsentrasi PM_{10} di atas menunjukkan di titik A1 yaitu pintu keluar tempat parkir Fakultas Hukum UII memiliki konsentrasi $83 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Kemudian di titik A2 yaitu di pintu masuk tempat parkir Fakultas Hukum UII memiliki konsentrasi $67 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Serta yang terakhir pada titik A3 yaitu di Laboratorium Air Teknik Lingkungan UII memiliki konsentrasi $17 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Sesuai pada grafik, bahwa titik A1 dengan konsentrasi $83 \mu\text{g}/\text{m}^3$ melebihi dari baku mutu yang berlaku yaitu sebesar $70 \mu\text{g}/\text{m}^3$, sedangkan kedua titik lainnya masih berada di bawah baku mutu.

Pengambilan sampel di titik A1 dilakukan pada saat masa ujian berlangsung dan kondisi tempat parkir sangat ramai, jumlah kendaraan motor yang terparkir sekitar 200-600 motor. Di lokasi tersebut, pada tanggal 15 Mei 2024 terdapat 4 petugas yang berjaga, 3 petugas berjaga di pintu keluar untuk mengecek STNK motor yang akan keluar dan petugas lainnya mobilisasi di sekitar tempat parkir untuk merapikan motor. Sekitar pukul 10.00 WIB, mahasiswa telah selesai melakukan ujian. Hal tersebut menyebabkan banyak motor yang mengantre keluar karena sistem parkir yang diterapkan di Fakultas Hukum sendiri yaitu dengan pengecekan STNK ketika ingin keluar. Dengan peraturan yang ada menyebabkan banyak mahasiswa yang menghentikan motornya terlebih dahulu di loket pengecekan STNK, dimana tempat tersebut merupakan lokasi titik A1. Oleh sebab itu, konsentrasi PM_{10} di titik A1 tinggi disebabkan oleh peningkatan konsentrasi PM_{10} yang berbanding lurus dengan peningkatan jumlah kendaraan, hal ini dibuktikan pada penelitian (Romansyah, 2019) bahwa konsentrasi PM_{10} tertinggi pada hari Minggu dimana jumlah pengunjung di Pasar Induk Tradisional Bojonegoro juga paling banyak dibandingkan hari Jumat dan Sabtu. Hal ini juga dibuktikan pada penelitian (Fitriyah & Indriyani, 2022) bahwa hasil perhitungan konsentrasi TSP dan PM_{10} menunjukkan korelasi positif dengan jumlah kendaraan, dimana meningkatnya jumlah kendaraan bermotor juga beriringan dengan meningkatnya konsentrasi TSP dan PM_{10} .

Tingginya konsentrasi PM_{10} di titik A1 ini tidak hanya dipengaruhi oleh jumlah kendaraan saja namun juga terdapat faktor lingkungan seperti kelembaban. Pada

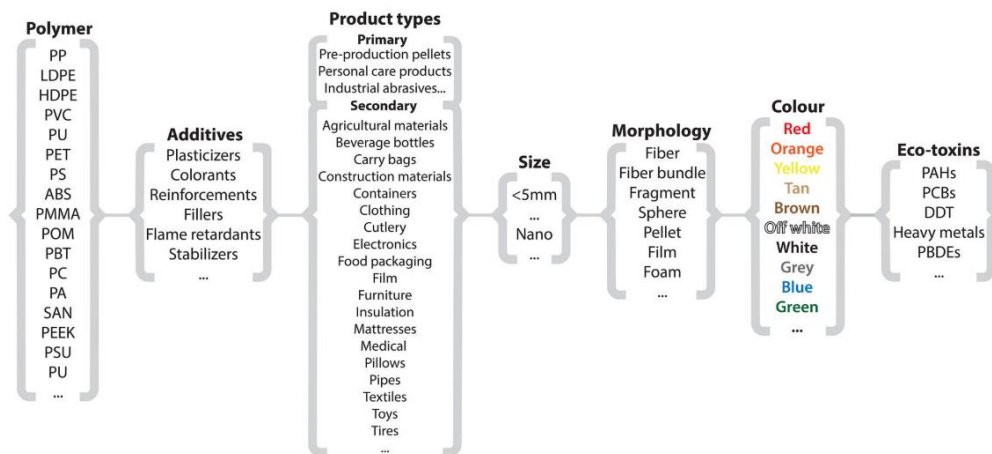
saat kelembaban udara tinggi, kadar uap air di udara dapat bereaksi dengan pencemar udara termasuk polutan PM_{10} (Romansyah, 2019). Hal tersebut didukung oleh (Hernandez et al., 2017) bahwa terdapat korelasi positif dari *Relative Humidity* (RH) dengan konsentrasi PM_{10} , hasil penurunan PM_{10} yang signifikan terjadi pada saat kelembapan menyentuh 75%. Namun terdapat korelasi negatif antara penurunan PM_{10} dengan tingkat kelembapan ketika naik, hal ini dipengaruhi oleh kondisi cuaca. Pernyataan tersebut didukung oleh penelitian (Kim et al., 2023) bahwa pengujian skala laboratorium menunjukkan penurunan konsentrasi PM pada tingkat kelembapan 50% atau lebih tinggi, namun apabila mempertahankan kelembapan lebih dari 50% secara terus menerus dapat menimbulkan kondensasi dan pertumbuhan jamur.

Selain itu, ventilasi udara menjadi salah satu faktor penting bagi kualitas udara di dalam ruang (Aysha, S., & Mani, M., 2017). Di *basement* Fakultas Hukum UII sendiri telah memiliki banyak ventilasi udara dan sirkulasi udara sudah cukup baik, namun pada kenyataannya pada saat pemantauan PM_{10} masih didapati konsentrasinya tinggi. Maka dapat disimpulkan bahwa pada saat kondisi kendaraan ramai diperlukan alat pengendalian pencemar udara bantuan seperti *blower* yang sudah tersedia di *basement* tersebut, namun *blower* tersebut tidak pernah dioperasikan.

Tingginya PM_{10} di udara dapat berdampak pada kesehatan manusia. Hal ini dapat berdampak pada sistem pernapasan atas, karena bulu hidung manusia tidak bisa menyaring kotoran dibawah ukuran $10\mu m$. Masyarakat yang terkena paparan PM_{10} mengalami gejala gangguan pernapasan seperti sesak napas, nyeri dada dan batuk (Nur et al., 2021). Selain itu, dapat berdampak pada penurunan visibilitas dan memperburuk kondisi sistem pernapasan pada pasien asma dan bronkitis. Paparan dari debu partikulat ini juga menyebabkan gejala batuk, batuk berdahak, nafas yang berbunyi dan sesak nafas. Pada manusia yang terpapar dalam jangka waktu yang lama akan mengalami gejala batuk, sesak nafas, nyeri dada, iritasi mata dan pusing dan efek kronisnya dapat memicu kematian dini pada penderita penyakit padan jantung (Muliyadi & Sarjan, 2020).

4.3 Analisis Hasil Uji Mikroplastik

Identifikasi mikroplastik pada sampel udara dilakukan dengan Mikroskop Olympus U- TV0.5XC-3 dengan perbesaran 4X dan 10X pada kertas filter fiber whatman. Hasil pengamatan mikroplastik dengan mikroskop berdasarkan jumlah dan kelimpahan, warna, jenis, ukuran, serta identifikasi polimer pada mikroplastik menggunakan FTIR Spektroskopi. Menurut (Rochman et al., 2019) mikroplastik sangat bervariasi dapat dibedakan berdasarkan ukuran, warna, dan bentuk, hal ini dapat ditunjukkan pada Gambar 4. 6



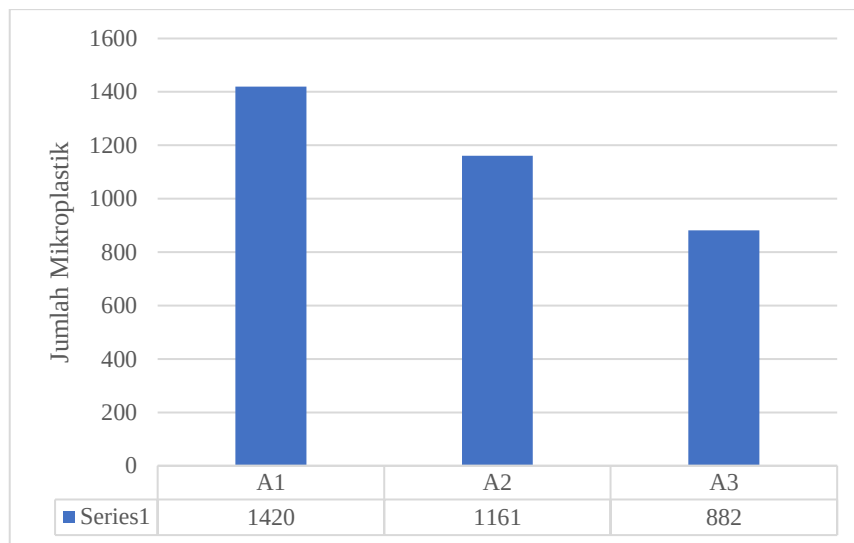
Sumber: (Rochman et al., 2019)

Gambar 4. 6 Klasifikasi mikroplastik

Dari data yang telah didapatkan jenis mikroplastik yang ditemukan pada sampel ada 4 jenis yaitu *fragment*, *film*, *pellet* dan *fibre* (serat). Sedangkan warna pada mikroplastik yang ditemukan terdapat 10 warna yaitu hitam, coklat, transparan, merah, kuning, oranye, pink, ungu, hijau dan biru.

4.3.1 Identifikasi Mikroplastik Berdasarkan Jumlah dan Kelimpahan

Dari analisis yang telah dilakukan didapatkan data jumlah partikel terhitung dari setiap titik yaitu sampel A1, A2, A3 dan Blanko dengan lama pengambilan sampel selama 8 jam kerja, yaitu ditunjukkan pada Gambar 4. 7



Gambar 4. 7 Grafik jumlah mikroplastik

Tabel 4. 5 Kelimpahan mikroplastik berdasarkan volume udara

KELIMPAHAN		
A1	0.30	Partikel/L
A2	0.24	Partikel/L
A3	0.18	Partikel/L
Rata-rata	0.24	Partikel/L

Berdasarkan grafik dan tabel di atas menunjukkan jumlah tertinggi pada titik A1 yang berlokasi di pintu keluar Fakultas Hukum UII yaitu sebesar 1420 Partikel dengan kelimpahan yaitu sebesar 0.30 Partikel/L, kemudian di titik A2 yang berlokasi di pintu masuk Fakultas Hukum UII yaitu sebesar 1161 Partikel dengan kelimpahan yaitu sebesar 0.24 Partikel/L, pada titik A3 yang berlokasi di Laboratorium Air Teknik Lingkungan UII yaitu sebesar 882 Partikel dengan kelimpahan 0.18 Partikel/L. Kelimpahan mikroplastik dipengaruhi oleh kegiatan manusia dan kuantitas populasi manusia di dalam ruangan (indoor) (Bahrina et al., 2020), selain itu tingkat polusi mikroplastik di udara dalam ruangan juga

dipengaruhi oleh karakteristik lingkungan yang ada di dalam ruangan tersebut (Ouyang et al., 2022).

Sehingga dapat diketahui bahwa tinggi nya partikel mikroplastik pada lokasi pintu keluar tempat parkir di Fakultas Hukum UII diakibatkan karena salah satu sumbernya dari ban yang mengalami gesekan dengan dataran sehingga mengalami keausan. Ban kendaraan yang mengalami aus dapat menjadi salah satu sumber mikroplastik, hal ini dibuktikan pada beberapa penelitian (Baensch-Baltruschat et al., 2020; Jan Kole et al., 2017; Luo et al., 2021; Sommer et al., 2018). Salah satu bahan baku pembuatan ban adalah karet sintetis (Baensch-Baltruschat et al., 2020). Selain itu terdapat kemungkinan partikel mikroplastik yang berada di dasar lantai terbawa ke udara ketika terdapat orang atau motor yang berlalu lalang. Selain itu, adanya aktivitas masyarakat di sekitar gedung dapat menjadi sumber dari mikroplastik tersebut, seperti pada Gambar 4.1 yang menunjukkan adanya kegiatan pembakaran sampah, konstruksi dan juga ada titik tumpukan sampah plastik. Mikroplastik yang terdeteksi pada ketiga sampel dapat bersumber dari udara luar melalui angin, dekatnya gedung dengan akses jalan, memungkinkan mikroplastik terbang ketika ada kendaraan berjalan.

Tabel 4. 6 Kelimpahan mikroplastik berdasarkan rasio

Ket. Lokasi	Sampel	Konsentrasi PM ₁₀ (µg/m ³)	Jumlah partikel mps	Rasio	
				Partikel/µg/m ³	Partikel/mg/m ³
Exit FH	A1	83	1420	17.04	17040
Enter FH	A2	67	1161	17.415	17415
Lab. Air TL	A3	17	882	52.92	52920

Perolehan data rasio didapatkan dari pembagian dari jumlah partikel mikroplastik dengan konsentrasi PM₁₀. Dari hasil perhitungan tersebut didapatkan nilai rasio paling tinggi diperoleh pada sampel A3 dengan konsentrasi sebesar 17 µg/m³ dan jumlah partikel yaitu 882 partikel sehingga diperoleh rasio yaitu 52.92 partikel per 1 µg/m³ dalam 8 jam kerja. Sedangkan rasio paling rendah yaitu 17.04

partikel/ $\mu\text{g}/\text{m}^3$ dengan konsentrasi PM_{10} yaitu $83 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Dari data tersebut dapat diketahui bahwa tingginya konsentrasi PM_{10} tidak mempengaruhi banyaknya kelimpahan mikroplastik yang didapat.

Jika dibandingkan dengan hasil penelitian oleh (Zhang et al., 2020) bahwa rata-rata kelimpahan mikroplastik tertinggi ditemukan di asrama ($9.9 \times 10^3 \text{ MPs}/\text{m}^2/\text{hari}$), kemudian di kantor ($1.8 \times 10^3 \text{ MPs}/\text{m}^2/\text{hari}$), dan di koridor ($1.5 \times 10^3 \text{ MPs}/\text{m}^2/\text{hari}$). Terbuktinya keberadaan mikroplastik di udara memberikan ancaman baru bagi kesehatan manusia dan lingkungan. Kelimpahan mikroplastik di lingkungan dalam ruangan pada penelitian tersebut dipengaruhi oleh turbulensi udara akibat air conditioner (AC). Maka dapat disimpulkan bahwa salah satu faktor kelimpahan mikroplastik di dalam ruangan dipengaruhi oleh karakteristik ruangan dan kondisi lingkungan dalam ruangan.

Dengan terbuktinya keberadaan mikroplastik di udara menimbulkan ancaman terhadap kesehatan manusia. Mikroplastik yang masuk ke tubuh manusia dapat terakumulasi pada organ, jaringan dan sel. Hal ini dapat menyebabkan peradangan pada jaringan, menimbulkan reaksi alergi, kehilangan nafsu makan, permasalahan pada hati dan gastrointestinal, sakit pada paru-paru dan kerusakan sel pada tubuh. Salah satu jalur masuknya mikroplastik ke tubuh manusia adalah melalui pernapasan, mikroplastik yang masuk dapat mengendap di sistem pernapasan salah satunya paru-paru. Partikel mikroplastik yang berukuran besar lebih sering terperangkap di sistem pernapasan atas sehingga bisa dikeluarkan dari tubuh melalui batuk atau bersin, namun adanya keterbatasan mekanisme pembersihan mikroplastik dalam tubuh dapat menyebabkan mikroplastik tersebut dapat terakumulasi pada paru-paru. Selain itu, terhirupnya mikroplastik dapat menyebabkan batuk, nafas yang berbunyi dan dyspnea atau sesak napas. Serta dapat memperparah penyakit pernapasan seperti asma dan penyakit paru obstruktif kronis (PPOK) (Saha & Saha, 2024).

4.3.2 Identifikasi Mikroplastik Berdasarkan Jenis

Dari data yang didapatkan jenis mikroplastik yang ditemukan yaitu *fragment*, *film*, *fibre*, *pellet* pada tempat parkir Fakultas Hukum UII dan Laboratorium Air

Teknik Lingkungan UII dengan identifikasi melalui perbesaran 4X dan 10X pada mikroskop. Menurut (Rochman et al., 2019) klasifikasi mikroplastik berdasarkan jenisnya yaitu:

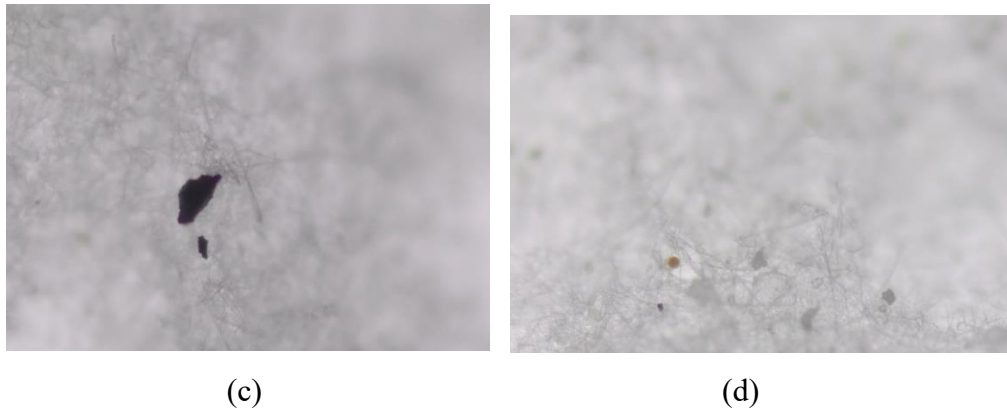
Fragmen, berbentuk lembaran tebal yang tidak berbentuk (irreguler shape), bisa juga berbentuk rapi, terlihat berwarna pekat, dapat berwarna apa saja. *Fragmen* terbentuk dari pecahan plastik seperti botol plastik, mika, kemasan produk, pipa paralon dll. *Film* berbentuk lembaran yang lebih tipis dan rata, *film* biasanya berwarna sebagian transparan atau transparan secara keseluruhan, dan dapat berwarna. *Film* terbentuk dari fragmentasi kantong plastik atau kemasan plastik dan memiliki densitas yang rendah. *Fiber* atau serat berbentuk fleksibel dan ujungnya dapat rapi runcing atau bercabang serta memiliki warna yang bervariasi. Serat dapat berasal dari pakaian berbahan sintetis, kantong plastik, serat jaring, kain, peralatan rumah tangga. *Pellet* berbentuk bulat atau agak silinder dan memiliki warna yang bervariasi, biasanya berasal dari kerusakan pada saat produksi, kerusakan dari penggunaan atau bahkan dari proses degradasi akibat cuaca (Bahrina et al., 2020; Ridlo et al., 2020; Rochman et al., 2019). Berikut adalah dokumentasi dari hasil mikroskop yang didapat dari tempat parkir Fakultas Hukum dan Laboratorium Air Teknik Lingkungan UII:



(a)

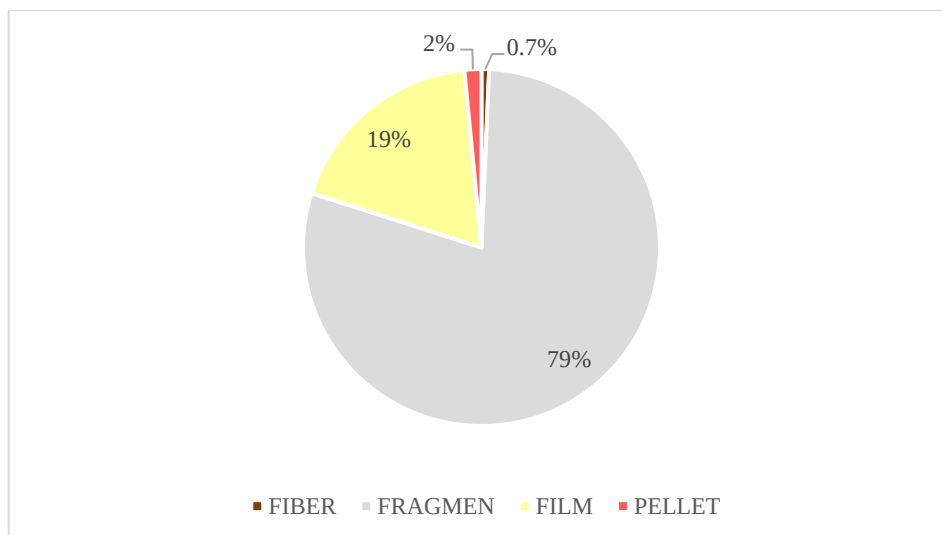


(b)

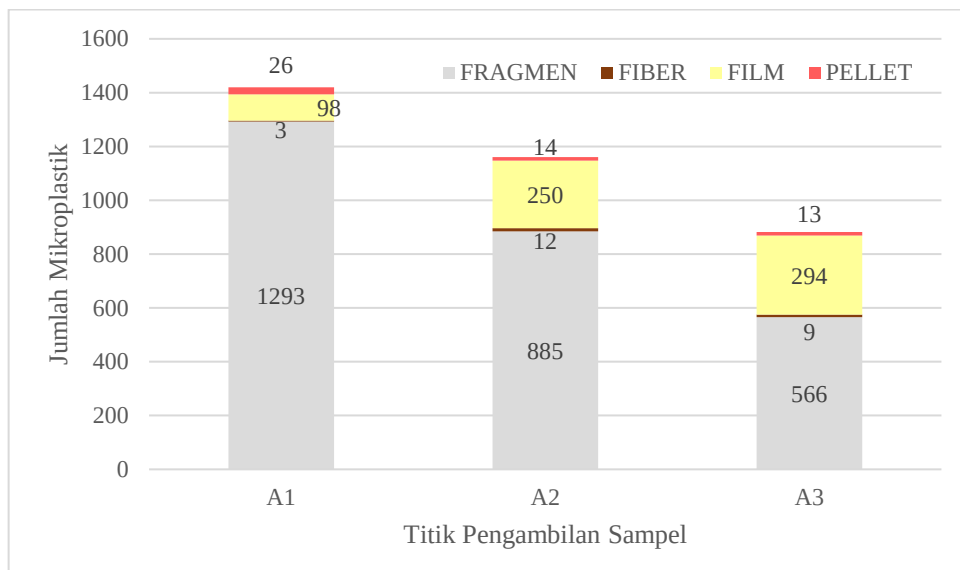


Gambar 4. 8 Jenis mikroplastik: (a) fiber; (b) film; (c) fragmen; (d) Pellet

Dari semua jenis mikroplastik yang ditemukan pada sampel, maka dilakukan penjumlahan mikroplastik berdasarkan jenisnya untuk mengetahui jenis mikroplastik apa yang paling dominan pada sampel PM_{10} yang telah diuji, berikut adalah grafik yang menunjukkan keterangan tersebut:

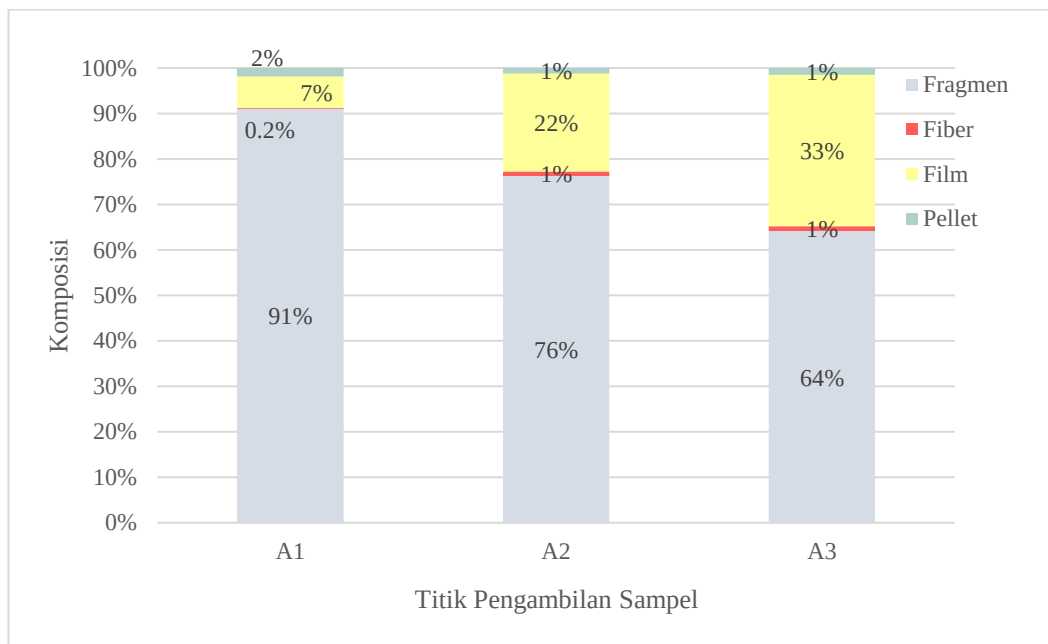


Gambar 4. 9 Persentase jumlah mikroplastik berdasarkan jenis



Gambar 4. 10 Grafik jumlah mikroplastik berdasarkan jenis

Dari grafik di atas menunjukkan bahwa jenis mikroplastik yang paling dominan yaitu jenis *fragmen*. Pada lokasi pintu keluar Fakultas Hukum atau sampel A1 menunjukkan jenis mikroplastik yang paling banyak adalah fragmen dengan jumlah mikroplastik yaitu 1293 partikel. Pada lokasi pintu masuk Fakultas Hukum atau sampel A2 juga menunjukkan jenis mikroplastik paling tingginya yaitu jenis *fragmen* dengan jumlah partikel sebesar 885 partikel. Pada sampel A3 yang berlokasi di Laboratorium Air Teknik Lingkungan jenis yang paling dominan adalah *fragmen* dengan jumlah partikel yaitu 566 partikel.



Gambar 4. 11 Grafik komposisi mikroplastik

Namun dapat dilihat dari Gambar 4. 11, pada setiap titik memiliki komposisi yang berbeda. Pada titik A1 komposisi paling tinggi adalah *fragmen* yaitu 91% dari keseluruhan sampel, hal ini bisa bersumber dari abrasi kendaraan, mikroplastik yang terbang saat kendaraan lewat, serta pipa yang berada di basement FH ditunjukkan pada Lampiran 3 dan bisa bersumber dari luar. Gedung Fakultas Hukum dekat dengan area pemukiman dengan berbagai macam aktivitas seperti terdapat beberapa kegiatan konstruksi bangunan yang bisa menimbulkan mikroplastik dengan jenis PVC yang ditunjukkan pada Lampiran 4, selain itu di area sekitar gedung juga banyak sampah plastik berserakan seperti kemasan makanan dan minuman dengan jenis PP. Serta komposisi tertinggi kedua yaitu *pellet* yaitu sebesar 2%, dugaan sumber mikroplastik dengan jenis ini adalah dari penggunaan produk perawatan dan produk pembersih rumah tangga, mengingat disekitar lokasi adalah area padat penduduk.

Pada sampel A2, komposisi tertinggi adalah jenis fragmen dengan persentase 76% dan diikuti oleh film dengan persentase 22%, serta fiber dan pellet masing-masing adalah 1%. Kemungkinan sumber mikroplastik yang berasal dari dalam basement yaitu dari ban kendaraan, karpet karet sintetis (*rubber mat*) untuk

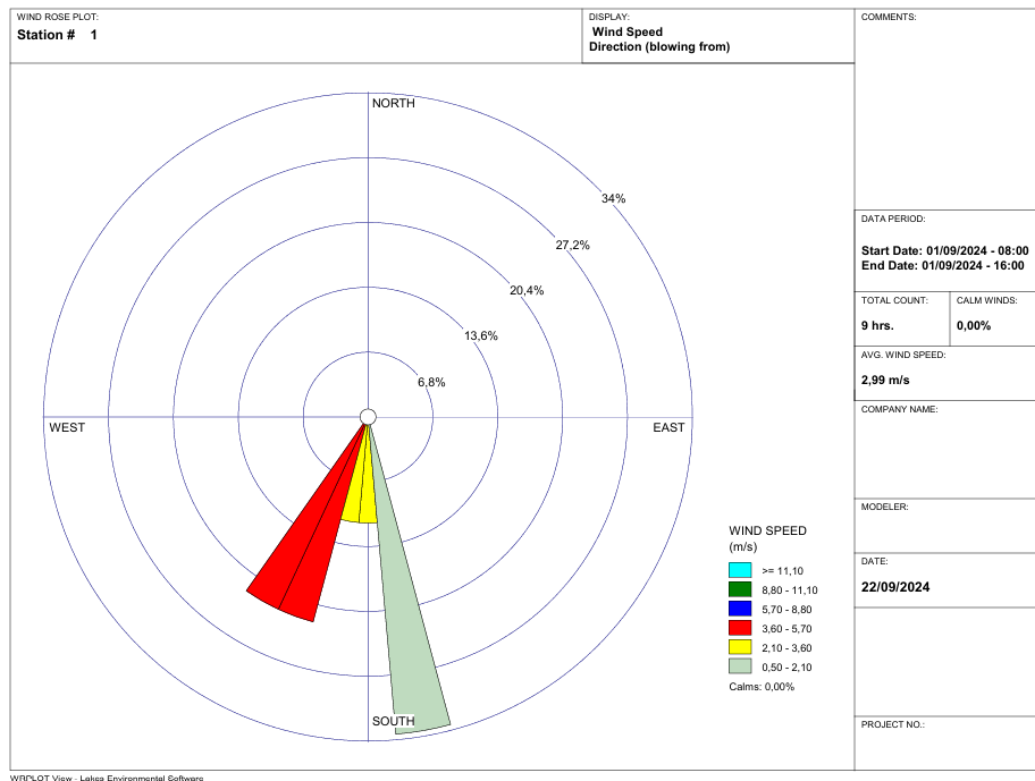
menahan roda kendaraan ketika masuk basement, pipa di sekitar area pengambilan sampel, kabel di atap basement yang ditunjukkan pada Lampiran 3. Sumber dari luar adalah adanya area pemukiman di sekitar seperti laundry yang menjadi sumber mikroplastik dengan polimer nilon, tempat makan yang menggunakan alat memasak berbahan plastik yang berasal dari PS. Adanya kegiatan pertanian di selatan gedung yang menggunakan plastik silver hitam untuk proses penanaman berbahan LDPE yang ditunjukkan pada Lampiran 4. Adanya kegiatan pembakaran sampah di area pemukiman menimbulkan jenis mikroplastik film lebih banyak di sampel ini karena lebih dekat dengan area pemukiman, serta ventilasi yang lebih banyak di titik A2 dibandingkan dengan yang ada di titik A1. Hal ini dapat dilihat pada Gambar 3.2 dan pada Lampiran 5.

Pada sampel A3, komposisi tertinggi adalah jenis fragmen dengan persentase 64% dan posisi kedua adalah film dengan persentase 33%. Jika dibandingkan dengan sampel lain, jenis film dengan persentase paling tinggi berada di sampel A3. Potensi sumber mikroplastik jenis film ini dapat berasal dari aktivitas pembakaran di dekat laboratorium dan adanya kemungkinan mikroplastik yang terbang ketika lewat kendaraan, karena di jalanan dekat laboratorium terdapat banyak plastik yang sudah terfragmentasi. Selain itu ditemukan banyak tumpukan sampah plastik seperti kresek atau kantong plastik dan kemasan plastik yang tidak dibuang dan menjadi sumber makanan bagi ayam warga sekitar karena adanya bekas sisa makanan pada plastik. Kondisi sumber mikroplastik tersebut ditunjukkan pada Lampiran 2.

Jika diakumulasikan jumlah mikroplastik dari seluruh lokasi dalam bentuk persentase dari mulai yang tertinggi hingga terendah secara berturut-turut yaitu *fragmen* > *film* > *pellet* > *fiber*. Jumlah mikroplastik berdasarkan jenisnya dengan persentase yaitu *fragmen* (79%), *film* (19%), *pellet* (2%) dan *fiber* (0.7%). Dari persentase tersebut dapat diketahui bahwa jenis yang paling banyak ditemukan dari sampel adalah jenis *fragmen* dan *film*. Menurut penelitian (Liao et al., 2021) kelimpahan mikroplastik di udara *indoor* dan *outdoor* yang dilakukan di China timur ditemukan bahwa jenis *fragmen* adalah yang paling dominan di semua sampelnya. Serta kelimpahan mikroplastik di udara dalam ruangan lebih banyak

dibandingkan yang di luar ruangan dengan jumlah di *indoor* ($1583 \pm 1180 \text{ n/m}^3$) dan jumlah di *outdoor* ($189 \pm 85 \text{ n/m}^3$).

Tingginya *fragment* yang ditemukan pada penelitian ini kemungkinan berasal dari adanya gesekan antara ban kendaraan dengan jalan dapat menyebabkan terbentuknya *fragment* (Sommer et al., 2018). Selain itu masih banyaknya masyarakat sekitar maupun mahasiswa yang membuang sampah kemasan plastik secara sembarangan, sehingga sampah plastik yang dibuang tersebut bisa mengalami degradasi dari faktor lingkungan seperti paparan sinar matahari, cuaca, suhu, dsb, sehingga membuat plastik mengalami fragmentasi dan menghasilkan mikroplastik di atmosfer terbawa angin (Andrady, 2017). Pada Gambar 3.2 dan Gambar 3.3 menunjukkan bahwa di area lokasi sampling terdapat banyak ventilasi, khususnya pada Gambar 3.2 yaitu di *basement* Fakultas Hukum. Hal ini memungkinkan mikroplastik yang masuk pada lokasi tersebut bersumber dari udara luar yang terbawa angin. Berikut adalah grafik *Wind Rose* yang menunjukkan arah angin dan kecepatan angin yang ditunjukkan pada Gambar 4.12

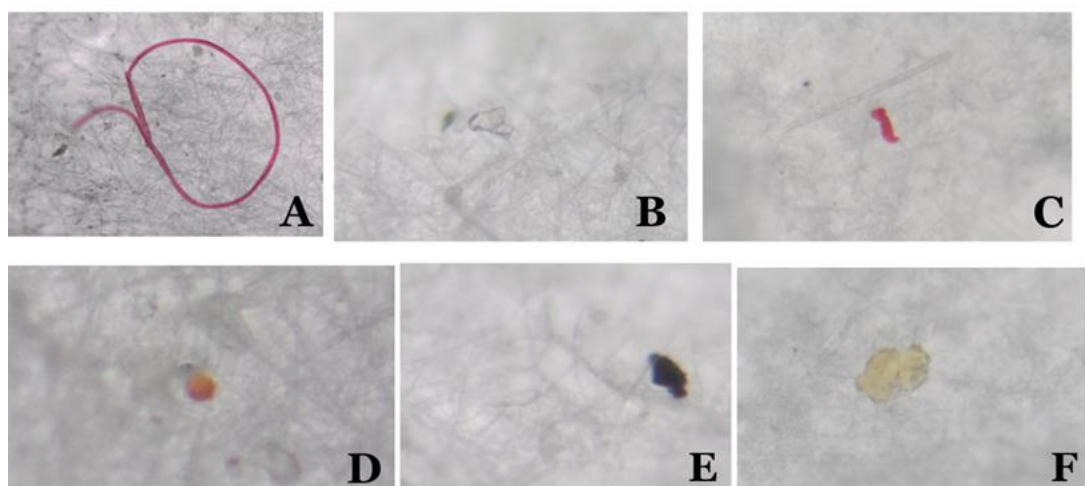


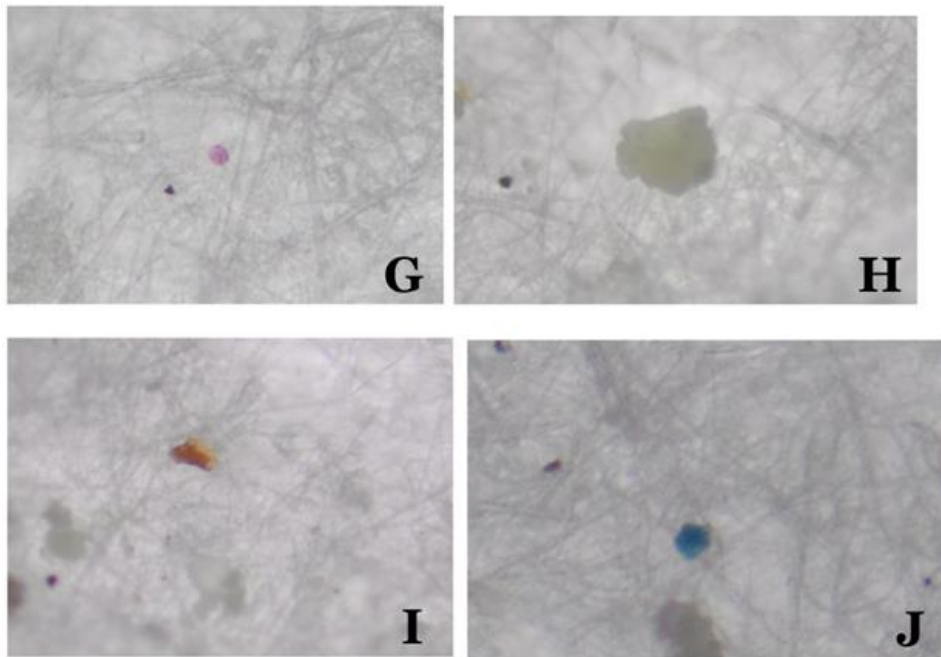
Gambar 4. 12 Grafik Wind Rose

Dari grafik tersebut dapat dipastikan bahwa sumber mikroplastik pada lokasi *basement* Fakultas Hukum juga berasal dari area pemukiman yang terletak di selatan dan barat dari gedung. Tepat di barat pintu masuk *basement* yang dekat dengan titik A2 terdapat tumpukan sampah yang tidak terawat serta disamping gedung bagian barat terdapat kegiatan pembakaran sampah termasuk jenis sampah plastik. Sedangkan pada lokasi laboratorium, angin dari luar tidak terlalu signifikan karena ventilasi yang lebih kecil dan sedikit dibandingkan pada lokasi Fakultas Hukum, serta pada saat pengambilan sampel terdapat kegiatan praktikum sehingga pintu ruangan di tutup pada sebagian besar pada rentang waktu pengambilan sampel.

4.3.3 Identifikasi Mikroplastik Berdasarkan Warna

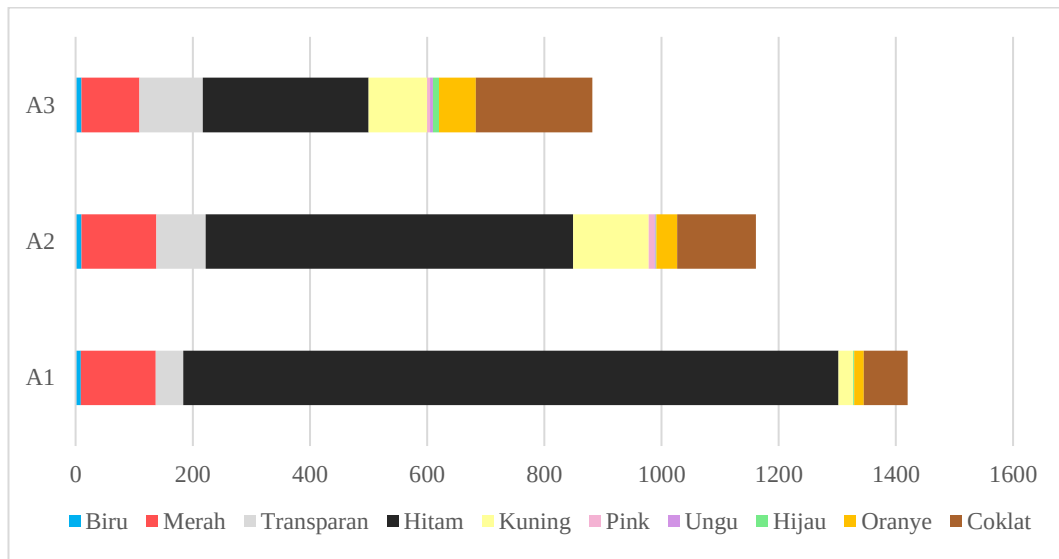
Hasil identifikasi mikroplastik yang dilakukan dengan mikroskop pada perbesaran 4X dan 10X didapatkan klasifikasi mikroplastik berdasarkan warnanya. Warna mikroplastik yang ditemukan pada sampel sebanyak 10 warna yaitu warna hitam, transparan, coklat, kuning, merah, oranye, ungu, pink, hijau dan biru. Berikut adalah foto warna mikroplastik yang ditemukan:





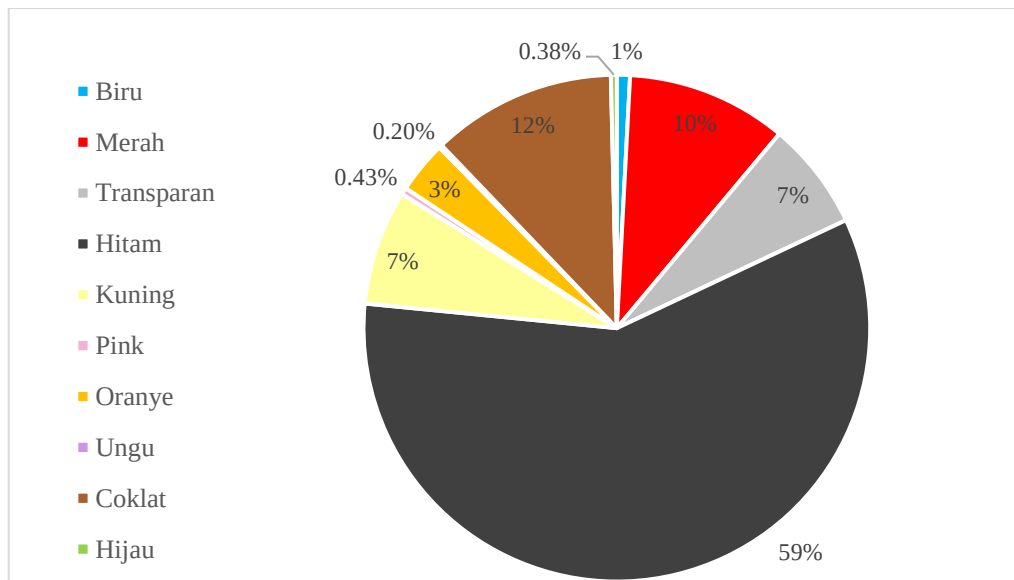
Gambar 4. 13 Warna mikroplastik: (A) Pink; (B) Transparan; (C) Merah; (D) Oranye; (E) Hitam; (F) Kuning; (G) Ungu; (H) Hijau; (I) Coklat; (J) Biru

Dari warna mikroplastik yang telah teridentifikasi maka jumlah partikel mikroplastik pada sampel PM_{10} di pintu keluar dan pintu masuk Fakultas Hukum, serta Laboratorium Air Teknik Lingkungan berdasarkan warna ditunjukkan pada grafik sebagai berikut:



Gambar 4. 14 Klasifikasi mikroplastik berdasarkan warna

Dari grafik di atas menunjukkan mikroplastik yang teridentifikasi dominan berwarna hitam, kemudian disusul warna coklat dan merah pada setiap sampel. Hal ini didukung dengan grafik berikut yang menunjukkan nilai persentase jumlah mikroplastik berdasarkan warna secara keseluruhan:

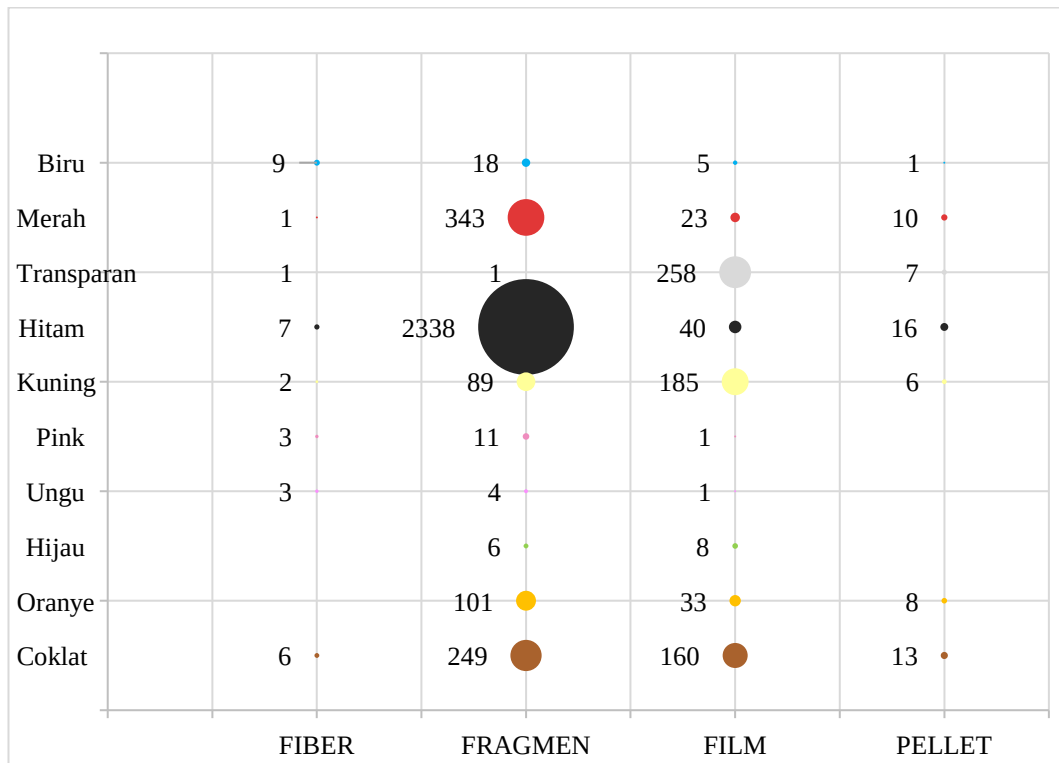


Gambar 4. 15 Persentase jumlah mikroplastik berdasarkan warna

Berdasarkan grafik tersebut, warna hitam adalah warna yang paling dominan dari mikroplastik yang ditemukan pada seluruh sampel. Warna hitam pada sampel bersumber dari ban yang mengalami abrasi ketika bergesekan dengan jalan, kabel dan sol sandal/sepatu (Pedersen et al., 2020). Pada gambar 4. 10 menunjukkan warna yang paling banyak ditemukan secara berturut-turut adalah warna hitam (59%), coklat (12%), merah (10%), kuning (7%), transparan (7%), oranye (3%), biru (1%), hijau (0.4%), pink (0.4%) dan ungu (0.2%).

Warna coklat pada mikroplastik bisa disebabkan oleh mikroplastik yang telah terpapar sinar matahari cukup lama sehingga terjadi oksidasi pada polimernya. Warna hitam menunjukkan dugaan mikroplastik berasal dari jenis Polystyrene (PS) dan Polypropylene (PP) dan diduga mengandung PAHs dan PCBs. Warna bening menandakan bahwa mikroplastik belum lama terpapar sinar matahari dan diduga berasal dari jenis polimer Polypropylene (PP) dan Polyethylene (PE). Warna kuning pada mikroplastik menunjukkan bahwa sudah lama berada di lingkungan dan telah mengalami oksidasi (Laksono et al., 2021; Ridlo et al., 2020). Apabila berdasarkan dugaan sumber mikroplastik yang ada di lokasi, maka warna hitam dapat berasal dari pembakaran sampah, dari fragmentasi plastik berwarna hitam. Warna coklat yang ditemukan dapat berasal dari plastik yang telah terpapar sinar matahari dan telah mengalami oksidasi, namun juga dapat berasal dari plastik yang berwarna coklat. Selain itu warna-warna lain pada mikroplastik yang ditemukan diduga dari warna plastik itu sendiri.

Setelah klasifikasi mikroplastik berdasarkan jumlah dan kelimpahan, jenis dan warna, maka ditunjukkan grafik total mikroplastik berdasarkan jenis dan warna pada sampel PM₁₀ di *Basement* Fakultas Hukum dan Laboratorium Air Teknik Lingkungan UII, sebagai berikut:



Gambar 4. 16 Jumlah mikroplastik berdasarkan warna dan jenis

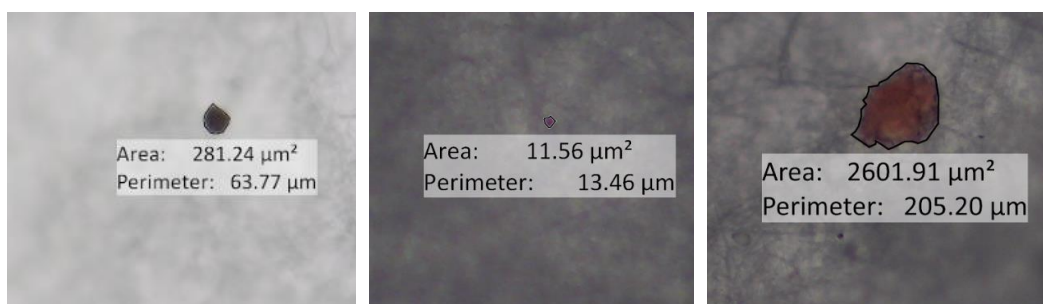
Secara keseluruhan jumlah mikroplastik paling tinggi adalah fragmen berwarna hitam, kemudian fragmen merah, film transparan, fragmen coklat, film kuning, film coklat, fragmen oranye dan fragmen kuning. Perbedaan jenis, bentuk dan warna mikroplastik dipengaruhi oleh lamanya mikroplastik terfragmentasi di lingkungan radiasi sinar ultraviolet dan inframerah, cuaca, cahaya matahari, dan absorpsi bahan kimia dan lamanya paparan sinar matahari (Laksono et al., 2021).

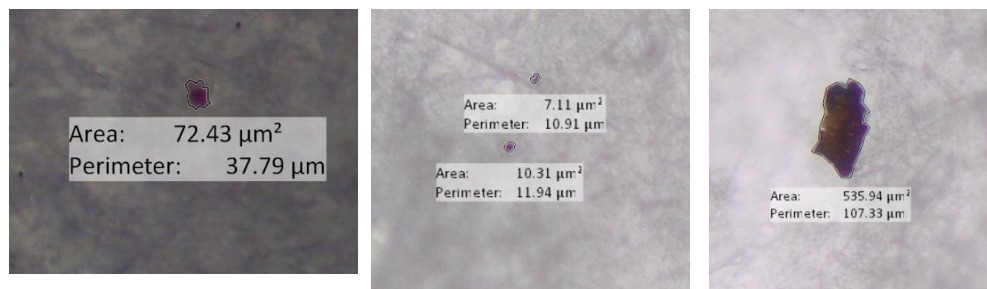
Apabila dibandingkan dengan hasil penelitian oleh (Perera et al., 2023) rata-rata kelimpahan yang diperoleh yaitu 0.20 sampai 2.25 partikel/m³. Kelimpahan tertinggi ditemukan di taman kanak-kanak yaitu sebesar $(2.25 \pm 0.38 \text{ n/m}^3)$ dan terendah yaitu pada kendaraan $(0.20 \pm 0.14 \text{ n/m}^3)$. Pada penelitian tersebut warna mikroplastik yang paling banyak ditemukan adalah warna hitam (63%), kemudian warna biru (24%), transparan (8%), oranye (3%) dan merah (2%). Sedangkan pada penelitian (Nematollahi et al., 2021), kelimpahan mikroplastik yang paling banyak ditemukan adalah *microfibre* dengan polimer PET dan PP, serta warna yang paling

banyak ditemukan adalah putih-transparan dengan rentang ukuran 500-1000 μm . Hasil penelitian ini menunjukkan mikroplastik udara dalam ruang di *basement* Fakultas Hukum dan Laboratorium Air Teknik Lingkungan memiliki rata-rata kelimpahan yaitu 0.24 Partikel/(L/jam) dengan jenis dan warna yang paling dominan yaitu *fragmen* hitam. Maka dapat diketahui bahwa sumber yang paling dominan berasal dari ban kendaraan yang mengalami abrasi, keausan jalan, keausan rem dan partikel mikroplastik yang terbang ketika kendaraan melaju. Hal ini didukung oleh (Sommer et al., 2018) bahwa partikel mikroplastik bisa dihasilkan dari kendaraan, dari 508 partikel yang ditemukan sebanyak 194 diantaranya berasal dari keausan jalan, abrasi pada ban kendaraan dan keausan rem. Selain itu yang menjadi sumber mikroplastik lainnya berasal dari fragmentasi pada sampah plastik di luar gedung, adanya konstruksi di area sekitar dan kegiatan pembakaran sampah yang kemudian dibawa oleh angin ke lokasi penelitian.

4.3.4 Identifikasi Mikroplastik Berdasarkan Ukuran

Identifikasi mikroplastik pada penelitian ini selain pada warna dan jenis juga dilakukan identifikasi berdasarkan ukuran melalui mikroskop pada perbesaran 4X dan 10X kemudian diukur dengan aplikasi yaitu Image Raster 3. Berikut adalah hasil pengukuran menggunakan aplikasi tersebut:





Gambar 4. 17 Ukuran mikroplastik

Dari hasil pengukuran tersebut maka didapatkan data ukuran mikroplastik dengan ukuran perimeter dan satuan mikrometer (μm), pada sampel A1 rentang ukuran mikroplastik yang ditemukan di pintu keluar tempat parkir Fakultas Hukum yaitu (23.66-337.35 μm), pada sampel A2 di pintu masuk tempat parkir Fakultas Hukum yaitu (10.91-848.53 μm), dan sampel A3 di Laboratorium Air Teknik Lingkungan yaitu (9.80-357.92 μm). Perbedaan variasi ukuran pada mikroplastik yang ditemukan dipengaruhi oleh lama waktu proses fragmentasi (Laksono et al., 2021). Semakin lama mikroplastik terpapar faktor lingkungan seperti paparan sinar matahari, cuaca (hujan, panas, berangin, badai, dsb) sebagai penunjang proses fragmentasi mikroplastik di lingkungan, maka semakin kecil ukuran mikroplastik dan akan terbentuk nanoplastik, sehingga terjadi peningkatan polusi nanoplastik di atmosfer (Bhat, 2024). Penetrasi radiasi ultraviolet mampu mengkatalisis proses foto-oksidasi pada plastik, hal ini menjadi penyebab plastik terdegradasi.

Partikel plastik akan terpecah menjadi ukuran mikro (0,1 – 100 μm) bersamaan dengan adanya pengaruh dari angin, pergerakan ombak dan dari proses abrasi. Semakin kecil ukuran mikroplastik maka semakin tinggi risiko terhadap kesehatan. Studi telah membuktikan bahwa mikroplastik dan nanoplastik dapat masuk ke paru-paru tergantung pada diameter aerodinamiknya saat terhirup. Khususnya pada mikroplastik berdiameter $<10\mu\text{m}$, memiliki potensi menembus saluran pernapasan bagian bawah (Bhat et al., 2023). Hal ini dibuktikan oleh (Leslie et al., 2022) bahwa ditemukan partikel mikroplastik dalam darah manusia. Sedangkan pada penelitian (Goodman et al., 2021) ditemukan terdapat gangguan pada fase proliferasi sel dan gangguan pada sitoskeleton, sehingga penelitian tersebut menyimpulkan bahwa

mikroplastik dengan polimer poliestriena (PS) di udara dampat berdampak toksik bagi manusia.

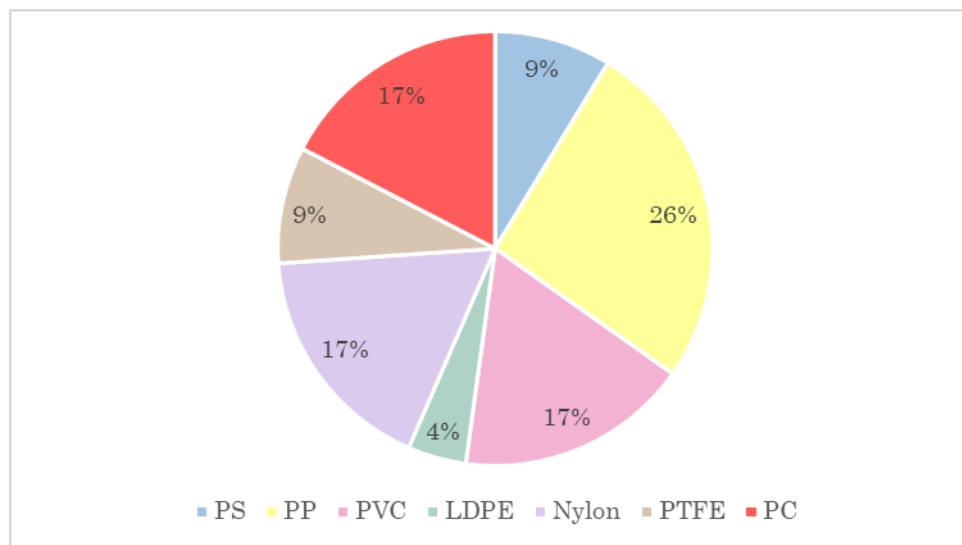
4.3.5 Identifikasi Mikroplastik Berdasarkan Polymer

Hasil analisis Spektrofotometri FTIR dari udara *indoor* di basemen Fakultas Hukum dan Laboratorium Air Teknik Lingkungan pada 3 sampel yaitu A1, A2, A3 dan Blanko, terdapat 9 jenis dugaan polimer yang ditemukan. Polimer tersebut yaitu *Polypropylene* (PP), *Polyestylene* (PS), *Low Density Polyethylene* (LDPE), *High Density Polyethylene* (HDPE), *Nylon*, *Polycarbonate* (PC), *Polyvinyl Chloride* (PVC) dan *Polytetrafluorethylene* (PTFE). Berikut adalah data polimer teridentifikasi pada semua sampel:

Tabel 4. 7 Identifikasi mikroplastik berdasarkan polimer

Titik lokasi	Peak (cm ⁻¹)	Peak Acuan (cm ⁻¹)	Polimer
A1	671.23	687	Nylon
	775.38	808	PP
	995.27	997	PP
		1013	PC
	1423.47	1427	PVC
A2	671.23	694	PS
		687	Nylon
	694.37	694	PS
	709.8	717	LDPE
	783.1	808	PP
	1002.98	1013	PC
	1423.47	1427	PVC
A3	628.79	638	PTFE
	775.38	808	PP
	999.13	997	PP
		1013	PC
	1423.47	1427	PVC
Blanko	632.65	616	PVC
	648.08	638	PTFE
	875.68	840	PP
	1002.98	1013	PC
	1631.78	1634	Nylon
	2931.8	2932	Nylon

Dari hasil identifikasi mikroplastik berdasarkan polimernya melalui pembacaan peak pada hasil analisis dengan Spektrofotometri FTIR. Penentuan peak acuan berdasarkan batas atas dan batas bawah dari peak yang didapat. Berdasarkan hasil identifikasi polimer dari peak, maka didapatkan data polimer keseluruhan ditunjukkan pada Gambar 4.18



Gambar 4. 18 Persentase jumlah polimer

1) *Polypropylene* (PP)

PP merupakan jenis polimer yang umum digunakan pada produk plastik biasa dan serat, menurut (Safrudin et al., 2021) PP memiliki karakteristik yang kuat, daya tembus uap yang kecil, dapat bertahan terhadap lemak dengan sangat baik, mampu bertahan pada suhu tinggi dan ringan. Penggunaan produk PP yaitu bisa digunakan pada tekstil sintetis sebagai bahan campuran pakaian dan pada bahan kemasan (Allen et al., 2019; Dris et al., 2017; Torres-Agullo et al., 2022)

2) *Polystyrene* (PS)

Menurut (Ghosh et al., 2013) adalah salah satu jenis polimer hidrofobik sintesis dan memiliki berat molekul yang tinggi. PS termasuk pada jenis polimer yang sulit untuk biodegradasi namun tetap bisa didaur ulang. PS bersifat keras, tidak tembus oleh cahaya, dapat bertahan pada suhu tinggi dan fleksibel. Polimer ini biasanya

digunakan pada peralatan rumah tangga dan sebagai pembungkus makanan (Kirk & Othmer, 1982).

3) *Low Density Polyethylene (LDPE)*

LDPE merupakan jenis termoplastik yang dapat dibentuk berulang kali dengan proses pemanasan, hal ini berkaitan dengan sifatnya yang fleksibel. LDPE juga bersifat tahan terhadap cuaca, kuat, tahan dari bahan kimia, tahan retak dan mudah untuk didaur ulang. LDPE biasanya digunakan sebagai bahan kantong plastik, *shopping bag*, kemasan makanan dan plastik pembungkus kertas, plastik hitam silver untuk pertanian (Gumulya et al., 2020).

4) *Nylon (Polyamides)*

Nilon termasuk dalam kelas poliamida dan termasuk dalam jenis termoplastik. Nilon bersifat tidak mudah patah, tahan gesekan, mudah kering, umumnya tidak tahan panas, ringan, elastis, fleksibel dan kuat (Apipah et al., 2014). Nilon digunakan dalam kegiatan sehari-hari seperti pakaian, ban, karpet dan sabuk pengaman (Hu & Yang, 2000).

5) *Polycarbonate (PC)*

Polikarbonat termasuk dalam jenis termoplastik dan bersifat mudah dicetak, mudah diolah dengan titik didih tertentu sehingga banyak digunakan di industri kimia. PC akan meleleh pada suhu 2000°C (S. Irawan & Supeni, 2013). PC bisa dicampur dengan polimer lainnya sehingga disebut juga plastik rekayasa (plastic engineering), digunakan pada mobil, alat elektronik, perangkat telekomunikasi dan pada kemasan makanan (Kausar, 2017).

6) *Polyvinyl Chloride (PVC)*

Pembentukan plastik PVC melalui proses polimerisasi adisi, penyusunan monomer vinil klorida terjadi berulang kali melalui ikatan kovalen. PVC bersifat keras, mampu bertahan dari bahan kimia, dapat terlarut, kuat, mampu tahan terhadap cuaca dan memiliki titik didih pada suhu 70-140°C. PVC umumnya digunakan pada bahan bangunan, pelapis pada kawat dan kabel, selang, pipa, dashboard mobil dan kemasan makanan (Yuniari, 2014).

7) *Polytetrafluorethylene (PTFE)*

PTFE atau umumnya disebut sebagai Teflon, dapat tahan panas hingga suhu 250°C, tahan gesekan, tahan korosi dan tidak menyerap korosi dan tahan terhadap bahan kimia. PTFE umumnya digunakan pada alat memasak seperti penggorengan, rice cooker, pelapis pipa, insulator kabel, alat elektronik dan peralatan laboratorium untuk anti korosi (Y. Irawan, 2021).

Dari dugaan polimer yang ditemukan, dapat diketahui bahwa polimer yang banyak ditemukan yaitu jenis PP yang berasal dari tekstil sintetis dan wadah kemasan, dsb. Selain itu jenis polimer yang paling banyak ditemukan kedua yaitu PC, PVC, dan Nilon, yang dimana bisa ditarik kesimpulan bahwa dugaan sumber mikroplastik yang ditemukan yaitu berasal dari kendaraan, plastik kemasan yang dibakar, pipa dari kegiatan konstruksi. Sumber mikroplastik dari kendaraan dapat berasal dari ban, badan kendaraan, rem, interior mobil, dsb. Selain itu dugaan sumber mikroplastik yang lain yaitu berasal dari *food packages*, tempat makan, tempat minum, maupun alat-alat yang ada di laboratorium.

4.3.6 Mitigasi dan Pengendalian Mikroplastik di Lingkungan

Sumber-sumber mikroplastik yaitu kendaraan dapat berasal dari ban, badan kendaraan, rem, interior mobil, hal lainnya dari *food packages*, tempat makan, tempat minum, maupun alat-alat yang ada di laboratorium. Pada penelitian lain ditemukan sumber mikroplastik dari karpet, mainan anak-anak, cat tembok, pakaian, dsb. Sumber-sumber mikroplastik tersebut berada disekitar kita dan ada dimana-mana, hal ini menjadi sulit untuk benar-benar dihilangkan dari sisi kita, namun bukan berarti tidak bisa. Hal-hal untuk mengurangi potensi adanya mikroplastik yaitu mengurangi penggunaan plastik seperti menggunakan botol minum dari *stainless steel* atau silikon, menggunakan tas kain dan menggantinya dengan bahan yang mudah terdegradasi (biodegradable). Lebih gencar dalam mengedukasi untuk meningkatkan kesadaran masyarakat agar lebih peduli dengan sampah disekitarnya, agar mengurangi terjadinya fragmentasi plastik sehingga terbentuk mikroplastik. Bagi pemerintah dapat membuat kebijakan dan regulasi yang sifatnya dapat mengedukasi masyarakat agar melakukan pengelolaan sampah dari rumah masing

masing. Selain itu, pemerintah juga harus menyediakan fasilitas pendukung di area-area ramai masyarakat.

Sedangkan dalam pengendalian mikroplastik yang ada di lingkungan, dapat menggunakan filter udara yang bisa menyaring partikel hingga mikroplastik. Untuk alat makan dan alat dapur dapat dibersihkan terlebih dahulu sebelum digunakan untuk menghindari potensi mikroplastik dikonsumsi (Bahrina et al., 2020). Untuk yang bersumber dari ban kendaraan, dapat diganti secara rutin apabila sudah menipis dan bagi orang yang terpapar disarankan menggunakan masker dengan baik dan benar untuk mengurangi potensi paparan mikroplastik. Mulai melakukan pemilahan sampah dari rumah tangga dan bisa menggunakan ulang barang-barang yang masih bisa digunakan. Pada sampah-sampah yang sudah terlanjur tercampur dan sulit dipilah bisa melakukan pendekatan biodegradasi menggunakan bakteri yang mampu mendegradasi plastik, serta ada yang menggunakan fungi (L et al., 2024).

BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Dari hasil identifikasi mikroplastik dan analisis data PM₁₀ dan mikroplastik di udara dalam ruang di *basement* Fakultas Hukum dan Laboratorium Air Teknik Lingkungan UII, maka dapat disimpulkan:

1. Hasil pengukuran PM₁₀ di Basement Fakultas Hukum dan Laboratorium Air Teknik Lingkungan UII didapatkan hasil tertinggi yaitu di titik A1 sebesar 83 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ dan yang terendah di titik A3 yaitu di Laboratorium Air Teknik Lingkungan UII memiliki konsentrasi 17 $\mu\text{g}/\text{m}^3$. Dengan baku mutu sesuai pada Permenkes No 2 Tahun 2023 Tentang Kesehatan Lingkungan yaitu 70 $\mu\text{g}/\text{m}^3$. Maka dapat disimpulkan bahwa tingginya konsentrasi PM₁₀ di titik A1 disebabkan oleh banyaknya jumlah kendaraan yang mengantre keluar tempat parkir dan hal tersebut berpotensi adanya paparan PM₁₀ yang berbahaya bagi petugas yang berjaga karena kondisi tersebut terjadi secara terus menerus.
2. Berdasarkan analisis mikroplastik dengan mikroskop didapatkan jumlah dan kelimpahan mikroplastik pada basement Fakultas Hukum dan Laboratorium Air Teknik Lingkungan di ketiga titik yaitu nilai tertinggi adalah 1420 partikel dengan kelimpahan sebesar 0.30 Partikel/L yang berada di titik pintu keluar FH dan nilai terendah adalah pada titik A3 yang berlokasi di Laboratorium Air yaitu sebesar 882 Partikel dengan kelimpahan 0.18 Partikel/L. Perbedaan jumlah dan kelimpahan mikroplastik tersebut dipengaruhi oleh sumber pencemar mikroplastik dan kondisi lingkungan ruangan.
3. Pada penelitian ini mikroplastik dalam PM₁₀ di basement FH dan Laboratorium Air TL diidentifikasi berdasarkan warna, jenis, ukuran dan jenis polimernya. Dari hasil identifikasi, didapatkan 4 jenis mikroplastik yaitu *fragmen*, *film*, *fiber*, dan *pellet*, serta warna mikroplastik yang teridentifikasi sebanyak 10 warna yaitu warna hitam, coklat, transparan, kuning, merah, oranye, biru, pink, hijau dan ungu. Jika diurutkan berdasarkan jenis dan warna, yang paling

dominan yaitu *fragmen* hitam > *fragmen* merah > *film* transparan > *fragmen* coklat > *film* kuning > *film* coklat > *fragmen* oranye > *fragmen* kuning. Ukuran mikroplastik teridentifikasi pada sampel A1 rentang ukuran mikroplastik yang ditemukan yaitu (23.66-337.35 μm), pada sampel A2 yaitu (10.91-848.53 μm), dan sampel A3 yaitu (9.80-357.92 μm). Serta polimer yang didapatkan dari analisis Spektrofotometri FTIR yaitu PP, PS, LDPE, *Nylon*, PC, PVC dan PTFE. Dari jenis polimer tersebut diketahui polimer yang dominan yaitu PP > Nilon $\geq$ PVC $\geq$ PC > PTFE $\geq$ PS > LDPE. Perbedaan jenis, warna, ukuran dan bentuk pada mikroplastik dipengaruhi oleh faktor durasi terjadinya fragmentasi dan durasi paparan dari faktor lingkungan (cuaca, sinar uv dan inframerah, sinar matahari, dsb).

5.2 Saran

Berdasarkan hasil penelitian dan kesimpulan, maka saran yang dapat dipertimbangkan bagi peneliti selanjutnya dan masyarakat:

1. Disarankan bagi petugas parkir untuk menggunakan masker dengan baik dan benar guna mencegah potensi bahaya terhadap kesehatan dari paparan PM₁₀.
2. Disarankan untuk mengoperasikan *blower* ketika kondisi tempat parkir ramai kendaraan yang ingin keluar, karena sirkulasi udara yang kurang baik di titik tersebut.
3. Melakukan *prevention action* untuk proses preparasi hingga analisa sampel mikroplastik guna mencegah kontaminasi dari lingkungan luar.
4. Melakukan pengembangan lebih lanjut terkait mikroplastik di udara *indoor*.
5. Melakukan identifikasi polimer pada mikroplastik menggunakan alat yang lebih teliti dan pasti seperti Raman Spectroscopy, Micro-FTIR, Micro Raman Spectroscopy dsb.
6. Melakukan pengukuran kecepatan dan arah angin di titik lokasi.

DAFTAR PUSTAKA

- Ageel, H. K., Harrad, S., & Abdallah, M. A. E. (2022). Occurrence, human exposure, and risk of microplastics in the indoor environment. *Environmental Science: Processes and Impacts*, 24(1), 17–31.
- Ahmad, M., Chen, J., Khan, M. T., Yu, Q., Phairuang, W., Furuuchi, M., Ali, S. W., Nawab, A., & Panyametheekul, S. (2023). Sources, analysis, and health implications of atmospheric microplastics. *Emerging Contaminants*, 9(3), 100233. <https://doi.org/10.1016/J.EMCON.2023.100233>
- Allen, S., Allen, D., Phoenix, V. R., 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. <https://doi.org/10.1038/s41561-019-0335-5>
- Andrady, A. L. (2017). The plastic in microplastics: A review. *Marine Pollution Bulletin*, 119(1), 12–22. <https://doi.org/10.1016/J.MARPOLBUL.2017.01.082>
- Apipah, E. R., Irmansyah, & Juansah, J. (2014). Sintesis dan Karakteristik Membran Nilon Yang Berasal Dari Limbah Benang. *Jurnal Biofisika*, 10(1), 8–18.
- Baensch-Baltruschat, B., Kocher, B., Stock, F., & Reifferscheid, G. (2020). Tyre and road wear particles (TRWP) - A review of generation, properties, emissions, human health risk, ecotoxicity, and fate in the environment. *Science of The Total Environment*, 733, 137823. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.137823>
- Bahrina, I., Syafei, A. D., Satoto, R., Jiang, J. J., Nurasrin, N. R., Assomadi, A. F., Boedisantoso, R., Hermana, J., & Nasir, M. (2020). An Occupant-Based Overview of Microplastics in Indoor Environments in the City of Surabaya, Indonesia. *Journal of Ecological Engineering*, 21(8), 236–242. <https://doi.org/10.12911/22998993/126876>

- Bhat, M. A. (2024). Airborne microplastic contamination across diverse university indoor environments: A comprehensive ambient analysis. *Air Quality, Atmosphere and Health*. <https://doi.org/10.1007/s11869-024-01548-9>
- Bhat, M. A., Gedik, K., & Gaga, E. O. (2023). Atmospheric micro (nano) plastics: future growing concerns for human health. *Air Quality, Atmosphere and Health*, 16(2), 233–262. <https://doi.org/10.1007/s11869-022-01272-2>
- Costa-Gómez, I., Suarez-Suarez, M., Moreno, J. M., Moreno-Grau, S., Negral, L., Arroyo-Manzanares, N., López-García, I., & Peñalver, R. (2023). A novel application of thermogravimetry-mass spectrometry for polystyrene quantification in the PM10 and PM2.5 fractions of airborne microplastics. *Science of The Total Environment*, 856, 159041. <https://doi.org/10.1016/J.SCITOTENV.2022.159041>
- Diane, Boudreau., Melissa, McDaniel., Erin, Sprout., and Andrew Turgeon. Parts of the Atmosphere. Diakses pada 07 Maret 2024 dari <https://education.nationalgeographic.org/resource/parts-atmosphere/>.
- Dris, R., Gasperi, J., Mirande, C., Mandin, C., Guerrouache, M., Langlois, V., & Tassin, B. (2017). A first overview of textile fibers, including microplastics, in indoor and outdoor environments. *Environmental Pollution*, 221, 453–458. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.envpol.2016.12.013>
- Environmental Protection Agency. (2024) Health and Environmental Effects of Particulate Matter (PM) <https://www.epa.gov/pm-pollution/health-and-environmental-effects-particulate-matter-pm> Diakses pada 17 September 2024.
- Fitriyah, F., & Indriyani, Y. S. (2022). Pengaruh Kendaraan Bermotor Terhadap Pencemaran Udara Di Kecamatan Ciruas Serang Banten. *Journal of Sustainable Civil Engineering (JOSCE)*, 4(02), 89–98. <https://doi.org/10.47080/josce.v4i02.2206>
- Ghosh, S. K., Pal, S., & Ray, S. (2013). Study of microbes having potentiality for

- biodegradation of plastics. *Environmental Science and Pollution Research International*, 20(7), 4339–4355. <https://doi.org/10.1007/s11356-013-1706-x>
- Goodman, K. E., Hare, J. T., Khamis, Z. I., Hua, T., & Sang, Q.-X. A. (2021). Exposure of Human Lung Cells to Polystyrene Microplastics Significantly Retards Cell Proliferation and Triggers Morphological Changes. *Chemical Research in Toxicology*, 34(4), 1069–1081. <https://doi.org/10.1021/acs.chemrestox.0c00486>
- Gumulya, D., Febriyanti, F., & Meilani, F. (2020). Mendaur ulang sampah kantong plastik Low Density Polyethylene menjadi produk fungsional. *Productum: Jurnal Desain Produk (Pengetahuan Dan Perancangan Produk)*, 3(7), 255–264. <https://doi.org/10.24821/productum.v3i7.3505>
- Habibi, N., Uddin, S., Fowler, S. W., & Behbehani, M. (2022). Microplastics in the atmosphere: a review. *Journal of Environmental Exposure Assessment*, 1(1). <https://doi.org/10.20517/jeea.2021.07>
- Hernandez, G., Berry, T.-A., Wallis, S., & Poyner, D. (2017). *Temperature and humidity effects on particulate matter concentrations in a sub-tropical climate during winter*. <https://doi.org/10.7763/IPCBE.2017.V102.10>
- Hidayati, R., Anggiani, S. T., & Maufikoh, I. (2017). Incidence Analysis of an Acute Respiratory Infection due to Climate Conditions and PM10 Concentration in West Jakarta Region. *Agromet*, 31(2), 62.
- Hildayani., Nadir. M. 2024. Analysis of Air Quality Changes at Punagaya Steam Power Plant based on Total Suspended Particulate (TSP) parameters. *Indonesian Journal of Contemporary Multidisciplinary Research (MODERN)*, Volume 3, Nomor 1, Hal. 229240.
- Irawan, S., & Supeni, G. (2013). Karakteristik Migrasi Kemasan Dan Peralatan Rumah Tangga Berbasis Polimer. *Jurnal Kimia Dan Kemasan*, 35(2), 105–112. <https://doi.org/10.24817/jkk.v35i2.1881>
- Irawan, Y. (2021). *Karakteristik PDIV dan VBD Material Polycarbonate dan*

Polytetrafluoroethylene yang Diberi Perlakuan Pasca Pemulihan. 1–27.

- Isabel Costa-Gómez, Mariel Suarez-Suarez, José María Moreno, Stella Moreno-Grau, L. Negral, Natalia Arroyo-Manzanares, Ignacio López-García, Rosa Peñalver. (2023). A novel application of thermogravimetry-mass spectrometry for polystyrene quantification in the PM10 and PM2.5 fractions of airborne Microplastics. *Science of The Total Environment*, Volume 856, Part 2, 159041.
- Jan Kole, P., Löhr, A. J., Van Belleghem, F. G. A. J., & 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). <https://doi.org/10.3390/ijerph14101265>
- Järnskog I, Jaramillo-Vogel D, Rausch J, Gustafsson M, Strömwall AM, Andersson-Sköld Y. (2022). Concentrations of tire wear microplastics and other traffic-derived non-exhaust particles in the road environment. *Environment International*, Volume 170, 107618.
- J. P. G. L. Frias and R. Nash, Microplastics: Finding a consensus on the definition, *Mar. Pollut. Bull.*, 2019, 138, 145–147
- Kausar, A. (2017). A review of filled and pristine polycarbonate blends and their applications. *Journal of Plastic Film & Sheeting*, 34(1), 60–97. <https://doi.org/10.1177/8756087917691088>
- Kim, M., Jeong, S.-G., Park, J., Kim, S., & Lee, J.-H. (2023). Investigating the impact of relative humidity and air tightness on PM sedimentation and concentration reduction. *Building and Environment*, 241, 110270. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2023.110270>
- Kole, Pieter Jan, Ansje J. Löhr, Frank G. A. J. Van Belleghem, and Ad M. J. Ragas. 2017. "Wear and Tear of Tyres: A Stealthy Source of Microplastics in the Environment" *International Journal of Environmental Research and Public Health* 14, no. 10: 1265. <https://doi.org/10.3390/ijerph14101265>
- Kushani Perera, Shima Ziajahromi, Susan Bengtson Nash, Frederic D.L. Leusch.

2023. Microplastics in Australian indoor air: Abundance, characteristics, and implications for human exposure. *Science of The Total Environment*, Volume 889. ISSN 0048-9697.
- L, E., Wilfred, N., S, K., Halder, G., Haldar, D., Patel, A. K., Singhanian, R. R., & Pandey, A. (2024). Biodegradation of microplastics: Advancement in the strategic approaches towards prevention of its accumulation and harmful effects. *Chemosphere*, 346(July 2023), 140661. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2023.140661>
- Laksono, O. B., Suprijanto, J., & Ridlo, A. (2021). *Kandungan Mikroplastik pada Sedimen di Perairan Bandengan Kabupaten Kendal*. 10(2), 158–164.
- Leslie, H. A., van Velzen, M. J. M., Brandsma, S. H., Vethaak, A. D., Garcia-Vallejo, J. J., & Lamoree, M. H. (2022). Discovery and quantification of plastic particle pollution in human blood. *Environment International*, 163, 107199. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.envint.2022.107199>
- Liao, Z., Ji, X., Ma, Y., Lv, B., Huang, W., Zhu, X., Fang, M., Wang, Q., Wang, X., Dahlgren, R., & Shang, X. (2021). Airborne microplastics in indoor and outdoor environments of a coastal city in Eastern China. *Journal of Hazardous Materials*, 417, 126007. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2021.126007>
- Li, P., Koziel, J. A., Paris, R. V., Macedo, N., Zimmerman, J. J., Wrzesinski, D., Sobotka, E., Balderas, M., Walz, W., Liu, D., Yedilbayev, B., Ramirez, B., Jenks, W. S. (2024). Indoor air quality improvement with filtration and UV- C on mitigation of particulate matter and airborne bacteria: Monitoring and modeling. *Journal of Environmental Management*, 351.
- Long Zhu, Yulin Kang, Mindong Ma, Zhixin Wu, Le Zhang, Rongxuan Hu, Qiujin Xu, Jingying Zhu, Xiaohong Gu, Lihui An. 2024. Tissue accumulation of microplastics and potential health risks in human. *Science of The Total Environment*, Volume 915. ISSN 0048-9697.

- Lusher, A. L., Peter H & Jeremy M. (2017). Microplastics in Fisheries and Aquaculture. Roma: Food and Agriculture Organization of The United Nations.
- Luo, Z., Zhou, X., Su, Y., Wang, H., Yu, R., Zhou, S., Xu, E. G., & Xing, B. (2021). Environmental occurrence, fate, impact, and potential solution of tire microplastics: Similarities and differences with tire wear particles. *Science of The Total Environment*, 795, 148902. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2021.148902>
- Maharani, Hanifah Aulia. (2023). Identifikasi Mikroplastik Di Udara Pada Polutan Total Suspended Particulate (TSP) Dan Particulate Matter (PM_{2,5} , PM₁₀) Di Ringroad Kota Yogyakarta. Universitas Islam Indonesia.
- Mukono, J., Prasasti, C., & Sudarmaji, S. (2005). Pengaruh Kualitas Udara dalam Ruangan Ber-ac terhadap Gangguan Kesehatan. *Jurnal Kesehatan Lingkungan Unair*, 1(2), 3941.
- Muliyadi, M., & Sarjan, M. (2020). Pengaruh Konsentrasi PM 10 Dengan Beberapa Keluhan Kesehatan Di PT Intimkara Ternate. *Media Publikasi Promosi Kesehatan Indonesia (MPPKI)*, 3(1), 44–49. <https://doi.org/10.56338/mppki.v3i1.1026>
- Napper, Imogen E. Baroth, Anju Barrett, Aaron C. Bhola, Sunanda Chowdhury, Gawsia W. Davies, Bede F.R. Duncan, Emily M. Kumar, Sumit Nelms, Sarah E. Niloy, Md Nazmul Hasan Nishat, Bushra Maddalene, Taylor Smith, Natalie Thompson, Richard C. Koldewey, Heather. (2023). *Science of The Total Environment*, Volume 901, Pages 166640.
- NASA.2020. Gettingto the Heart of the (Particulate) Matter <https://science.nasa.gov/earth/earth-atmosphere/aerosols/getting-to-the-heart-of-the-particulate-matter/> Diakses pada 17 September 2024.
- Nematollahi, M. J., Keshavarzi, B., Zarei, M., & Moore, F. (2021). *Microplastic occurrence in settled indoor dust in schools. October*. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2021.150984>

- Ni Nyoman Dayu Mahalastri. (2014). Hubungan antara pencemaran udara dalam ruang dengan kejadian pneumonia balita. *Jurnal Berkala Epidemiologi*, 2(3), 392–403.
- Nur, E., Seno, B. A., & Hidayanti, R. (2021). Risk of Public Health Problems Due to PM10 Exposure in Padang City. *Jurnal Kesehatan Lingkungan Indonesia*, 20(2), 97–103. <https://shorturl.asia/6u94Z>
- Ouyang, Z., Mao, R., Hu, E., Xiao, C., Yang, C., & Guo, X. (2022). The indoor exposure of microplastics in different environments. *Gondwana Research*, 108, 193–199. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.gr.2021.10.023>
- Particulate Matter (PM) Pollution. 2023. Diakses pada 13 Maret 2024 dari <https://www.epa.gov/pm-pollution/particulate-matter-pm-basics#PM>.
- Peiyang Li, Jacek A. Koziel, Reid Vincent Paris, Nubia Macedo, Jeffrey J. Zimmerman, Danielle Wrzesinski, Erin Sobotka, Mateo Balderas, William B. Walz, Dongjie Liu, Bauyrzhan Yedilbayev, Brett C. Ramirez, William S. Jenks. (2024). Indoor air quality improvement with filtration and UV-C on mitigation of particulate matter and airborne bacteria: Monitoring and modeling, *Journal of Environmental Management*, Volume 351, 119764.
- Peraturan Menteri Kesehatan Republik Indonesia Nomor 2 Tahun 2023 Tentang Peraturan Pelaksanaan Peraturan Pemerintah Nomor 66 Tahun 2014 Tentang Kesehatan Lingkungan.
- Peraturan Pemerintah Nomor 22 Tahun 2021 Tentang Penyelenggaraan Perlindungan dan Pengelolaan Lingkungan Hidup.
- Pedersen, A. F., Meyer, D. N., Petriv, A.-M. V, Soto, A. L., Shields, J. N., Akemann, C., Baker, B. B., Tsou, W.-L., Zhang, Y., & Baker, T. R. (2020). Nanoplastics impact the zebrafish (*Danio rerio*) transcriptome: Associated developmental and neurobehavioral consequences. *Environmental Pollution*, 266, 115090. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.envpol.2020.115090>

- Perera, K., Ziajahromi, S., Nash, S. B., & Leusch, F. D. L. (2023). Microplastics in Australian indoor air: Abundance, characteristics, and implications for human exposure. *Science of The Total Environment*, 889, 164292. <https://doi.org/10.1016/J.SCITOTENV.2023.164292>
- Pratiwi, A. (2020). *Karakterisasi Mikroplastik Dalam Ruang*. 1–156.
- PT Rekind Daya Mamuju (RDM) Aktif Kurangi Sampah Plastik. 2024. Diakses pada 28 Februari 2024 dari <https://dlhk.mamujukab.go.id/berita-5194-pt-rekind-daya-mamuju-rdm-aktif-kurangi-sampah-plastik.html>
- Ridlo, A., Ario, R., Maa, A., Supriyanti, E., & Sedjati, S. (2020). *Mikroplastik pada Kedalaman Sedimen yang Berbeda di Pantai Ayah Kebumen Jawa Tengah*. 23(November), 325–332.
- Rihab S. Al-Hussayni. (2023). Assessment of Indoor Air Pollution by Suspended Micro plastic in Selected Sites of Mosul city. College of Basic Education Researches Journal. Volume 19, No. 4
- Rochman, C. M., Brookson, C., Bikker, J., Djuric, N., Earn, A., Bucci, K., Athey, S., Huntington, A., McIlwraith, H., Munno, K., Frond, H. De, Kolomijeca, A., Erdle, L., Grbic, J., Bayoumi, M., Borrelle, S. B., Wu, T., Santoro, S., Werbowski, L. M., ... Hung, C. (2019). Rethinking microplastics as a diverse contaminant suite. *Environmental Toxicology and Chemistry*, 38(4), 703–711. <https://doi.org/10.1002/etc.4371>
- Romansyah, M. (2019). Analisis Korelasi Karbon Monoksida (CO) dan Particulate Matter (PM) dengan Kendaraan Bermotor dan Faktor yang Berhubungan. *Jurnal Ekonomi Volume 18, Nomor 1 Maret 2019*, 2(1), 41–49.
- Safrudin, A. L., Junaidi, A., & Yunus, M. (2021). STUDY FISIS DAN MEKANIS SERTA PENYUSUTAN PLASTIC POLYPROPYLENE DIPADUKAN DENGAN PLASTIC POLYETHYLENE. *MACHINERY Jurnal Teknologi Terapan*, 2(1), 58–65. <https://doi.org/10.5281/zenodo.4748704>
- Saha, S. C., & Saha, G. (2024). Effect of microplastics deposition on human lung

airways: A review with computational benefits and challenges. *Heliyon*, 10(2), e24355. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2024.e24355>

Sheraz, M., Kim, J., & Kim, J. (2023, December 1). Nano/microplastics in indoor air: A critical review of synthesis routes for toxicity testing and preventative measure strategies. *Process Safety and Environmental Protection*. Institution of Chemical Engineers.

SNI 16-7058-2004 Tentang Pengukuran Kadar Debu Total Di Udara Tempat Kerja.

SNI 7230 – 2009 tentang Teknik Penentuan Titik Pengambilan Sampel Udara Di Tempat Kerja

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), 2014–2028. <https://doi.org/10.4209/aaqr.2018.03.0099>

Syam Nugraha, M., Saefumillah, A., & Sopaheluwakan, A. (2021). Karakteristik Kimia dan Morfologi dari Total Suspended Particulate (TSP) di Jakarta dan Puncak-Bogor pada Masa Pembatasan Sosial Berskala Besar. *Jurnal Ecolab*, 15(2), 121–132.

Torres-Agullo, A., Karanasiou, A., Moreno, T., & Lacorte, S. (2022). Airborne microplastic particle concentrations and characterization in indoor urban microenvironments. *Environmental Pollution*, 308, 119707. <https://doi.org/10.1016/J.ENVPOL.2022.119707>

Vasco Almeida Silva Valente, J., Ramiro Dias Pastorinho Co-Orientador, M., & Catarina Sousa Luís Taborda-Barata, A. (2020). *UNIVERSIDADE DA BEIRA INTERIOR Ciências Microplastics in the indoor environment*.

Veerasingam, S., Ranjani, M., Venkatachalapathy, R., Bagaev, A., Mukhanov, V., Litvinyuk, D., Mugilarasan, M., Gurumoorthi, K., Gunganathan, L., Aboobacker, V. M., & Vethamony, P. (2021). Contributions of Fourier transform infrared spectroscopy in microplastic pollution research: A review.

Critical Reviews in Environmental Science and Technology, 51(22), 2681–2743. <https://doi.org/10.1080/10643389.2020.1807450>

W. C. Li, H. F. Tse and L. Fok, Plastic waste in the marine environment: A review of sources, occurrence and effects, *Sci. Total Environ.*, 2016, 566–567, 333–349.

Xiaoyu Zhai, Han Zheng, Yihao Xu, Ran Zhao, Weijie Wang, Huibin Guo. 2023. Characterization and quantification of microplastics in indoor environments. *Heliyon*, Volume 9, Issue 5. ISSN 2405-8440.

Xinran Zhao, Yupeng Zhou, Chenzhe Liang, Jianchen Song, Siyun Yu, Gengxuan Liao, Peiyan Zou, Kuok Ho Daniel Tang, Chenmiao Wu. 2023. Airborne microplastics: Occurrence, sources, fate, risks and mitigation. *Science of The Total Environment*, Volume 858, Part 2. ISSN 0048-9697.

Youn Suk Son. (2023). A Review on Indoor And Outdoor Factors Affecting The Level of Particulate Matter in Classrooms of Elementary Schools. *Journal of Building Engineering*, Volume 75, 106957.

Yuniari, A. (2014). Sifat elektrik dan termal nanokomposit poly(vinyl chloride) (PVC)/low density polyethylene (LDPE). *Majalah Kulit, Karet, Dan Plastik*, 30(2), 53. <https://doi.org/10.20543/mkkip.v30i2.126>

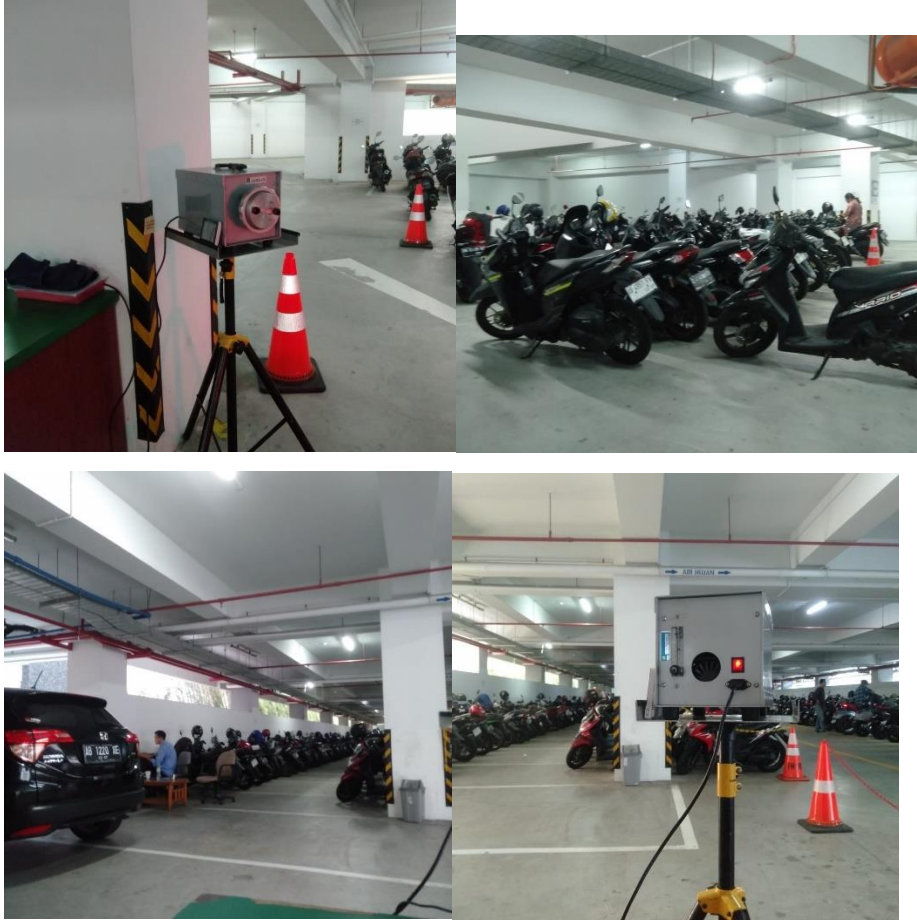
Zhang, Q., Zhao, Y., Du, F., Cai, H., Wang, G., & Shi, H. (2020). Microplastic Fallout in Different Indoor Environments. *Environmental Science & Technology*, 54(11), 6530–6539. <https://doi.org/10.1021/acs.est.0c00087>

Zhang, Y., Kang, S., Allen, S., Allen, D., Gao, T., & Sillanpää, M. (2020). Atmospheric microplastics: A review on current status and perspectives. *Earth- Science Reviews*, 203, 103118. <https://doi.org/10.1016/j.earscirev.2020.103118>

Zhu, X., Huang, W., Fang, M., Liao, Z., Wang, Y., Xu, L., Mu, Q., Shi, C., Lu, C., Deng, H., Dahlgren, R., Shang, X., 2021. Airborne microplastic concentrations in five megacities of northern and southeast China. *Environ. Sci.* 35.

LAMPIRAN

1. Sampling PM₁₀ di Fakultas Hukum



Lampiran 1 Pengambilan sampel di Fakultas Hukum

2. Sumber mikroplastik di area lokasi sampling





Lampiran 2 Pembakaran sampah dan tumpukan plastik di atas Lab. Air



Lampiran 3 Sumber mikroplastik dari dalam basement yaitu rubber mat; kabel;
pipa



Lampiran 4 Kegiatan konstruksi disekitar Fakultas Hukum





Lampiran 5 Kegiatan pembakaran sampah, tumpukan sampah dan pertanian di sekitar Fakultas Hukum

3. Sampling PM_{10} di Laboratorium Air Teknik Lingkungan



Lampiran 6 Pengambilan sampel di Lab. Teknik Lingkungan

4. Penimbangan kertas saring setelah sampling



Lampiran 7 Penimbangan kertas filter

5. Preparasi sampel



Lampiran 8 Proses ultrasonic bath



Lampiran 9 Setelah pengeringan dari oven



Lampiran 10 Perendaman dengan H_2O_2



Lampiran 11 Pengocokan sampel dengan ZnCl_2 menggunakan stirrer



Lampiran 12 Proses vakum sampel mikroplastik

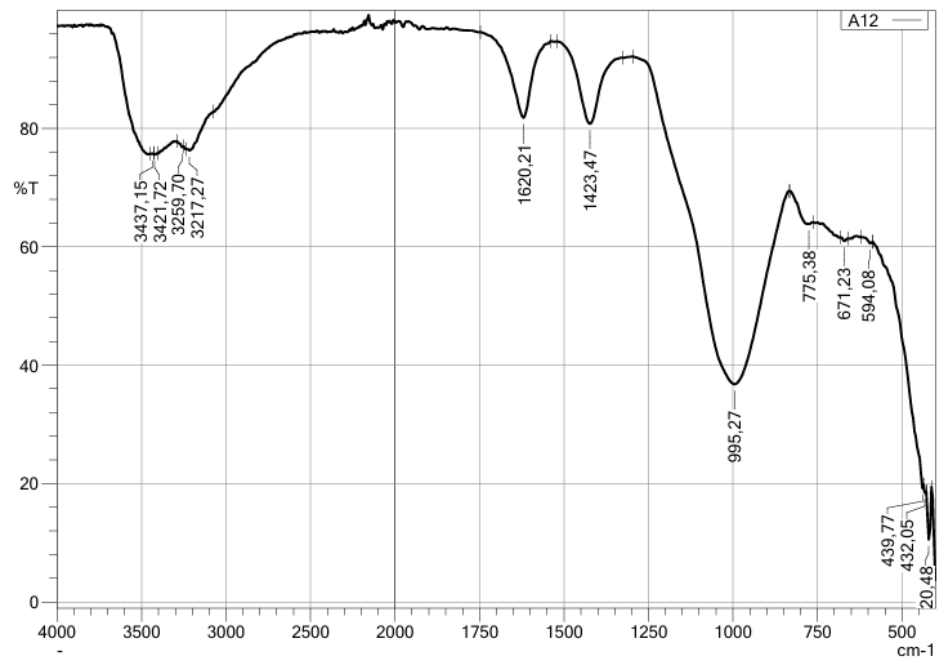
6. Analisa dengan mikroskop



Lampiran 13 Identifikasi dengan mikroskop

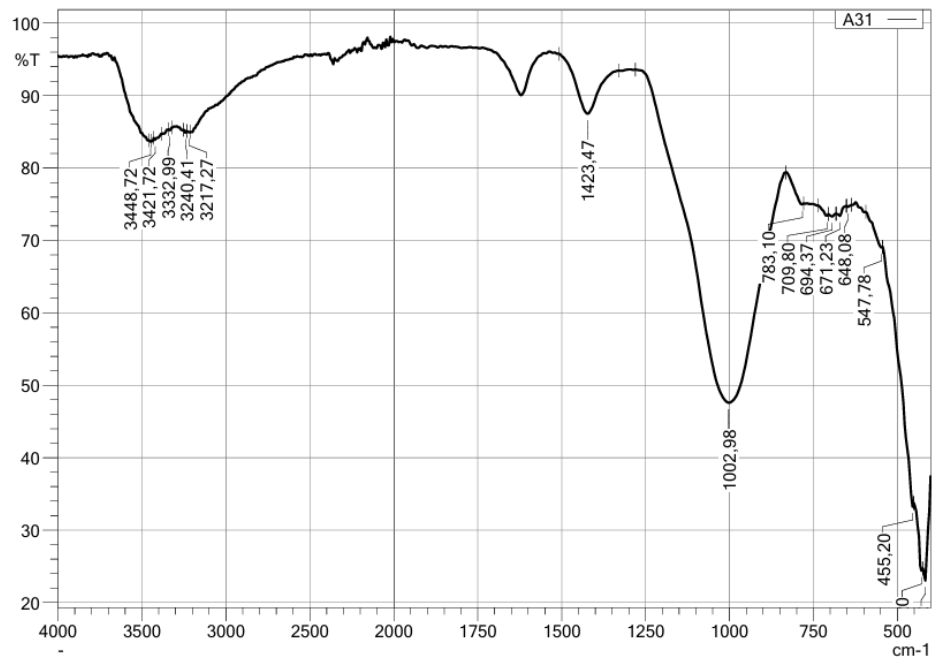
7. Analisa dengan FTIR

a. Hasil analisis pada sampel A1



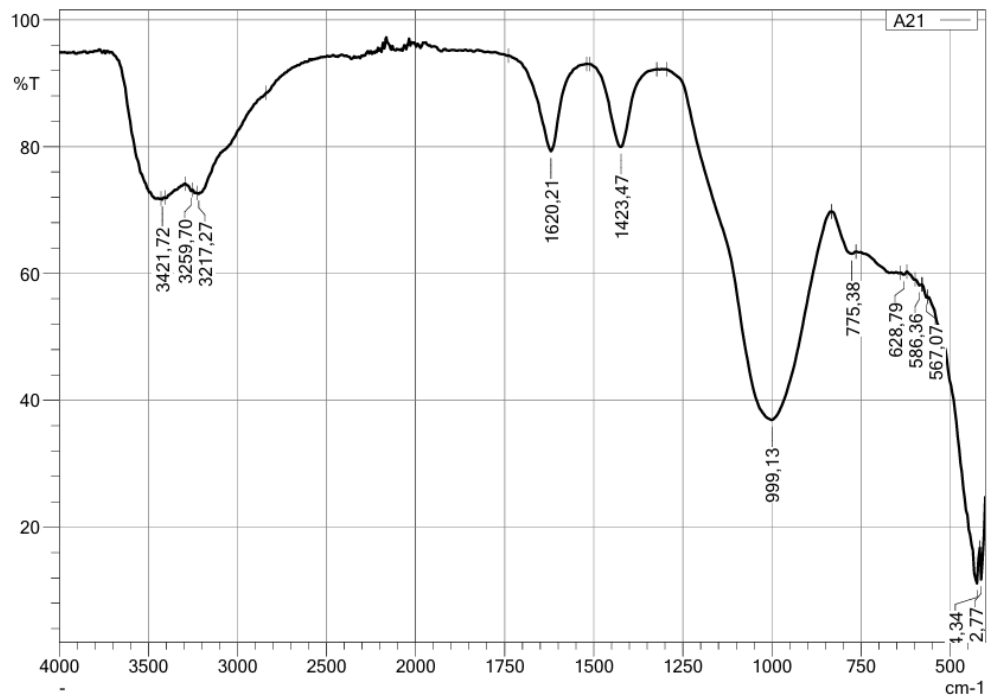
Lampiran 14 Grafik FTIR sampel A1

b. Hasil analisis pada sampel A2



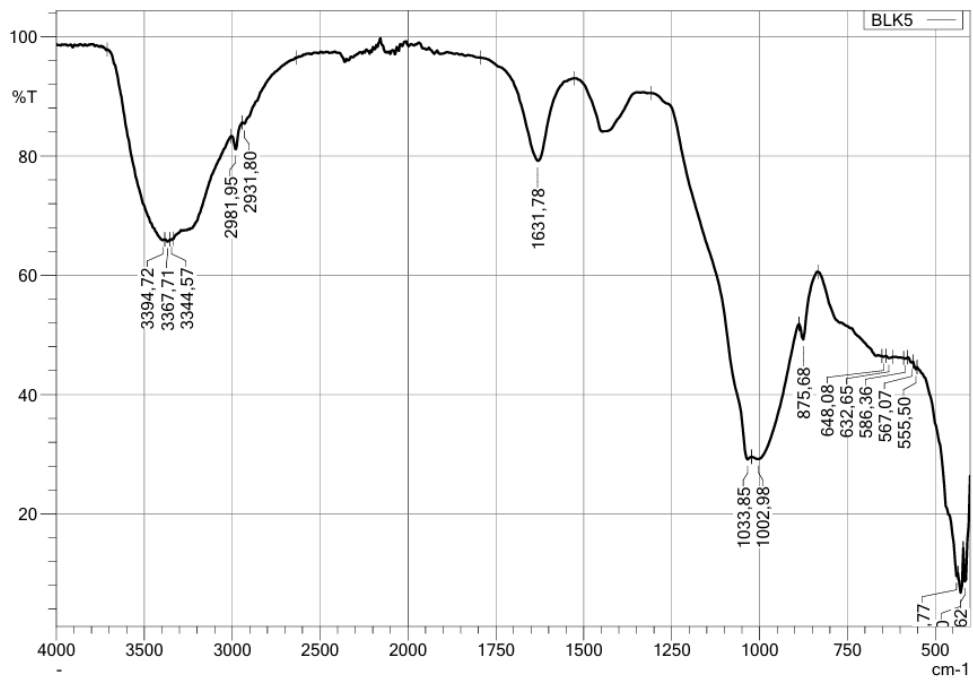
Lampiran 15 Grafik FTIR sampel A2

c. Hasil analisis pada sampel A3



Lampiran 16 Grafik FTIR sampel A3

d. Hasil analisis pada Blanko



Lampiran 17 Grafik FTIR Blanko

8. Data pengamatan mikroplastik

No	Warna	Sampel				Jumlah
		A1	A2	A3	Blanko	
1	Biru	11	12	12	4	39
2	Merah	150	150	121	22	443
3	Transparan	75	112	135	28	350
4	Hitam	1485	1000	650	373	3508
5	Kuning	30	157	128	28	343
6	Pink	0	10	5	0	15
7	Ungu	0	2	5	1	8
8	Hijau	3	2	11	1	17
9	Oranye	43	63	90	27	223
10	Coklat	95	154	219	20	488
Total						5434

Lampiran 18 Jumlah mikroplastik berdasarkan warna

Sampel	Jenis Mikroplastik			
	FIBER	FRAGMEN	FILM	PELLET
A1	5	1709	144	34
A2	20	1301	319	22
A3	16	982	363	15
Blanko	8	416	72	8
Jumlah	49	4408	898	79
Total	5434			

Lampiran 19 Jumlah mikroplastik berdasarkan jenis