

1. PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang

Studi tentang mikroplastik telah berkembang pesat dalam beberapa tahun terakhir. Studi tersebut diantaranya tentang deteksi keberadaan mikroplastik dan metode analisis mikroplastik. Sebagian besar studi tentang deteksi mikroplastik menekankan pentingnya standarisasi metode analisis mikroplastik untuk mendapatkan data yang valid dan dapat diandalkan (Muller *et al.*, 2020). Validitas dan keterandalan data sangat dibutuhkan untuk dapat melakukan *risk assessment* mikroplastik (Hantoro *et al.*, 2019).

Mikroplastik termasuk *novel contaminant* sehingga belum dapat dikuantifikasi secara valid. Selain itu, terdapat berbagai variasi metode pengambilan sampel, ekstraksi, kuantifikasi, identifikasi, dan penjaminan mutu analisis masih menjadi hambatan untuk mendapatkan hasil yang valid. Ragam metode identifikasi juga memberikan akurasi yang berbeda-beda. Metode yang beragam menimbulkan kesulitan dalam perbandingan studi mikroplastik dan dalam menilai relevansi dan risiko mikroplastik. Selain itu, penelitian yang dilakukan juga beragam, hingga tahun 2019 terdapat hampir 2000 artikel publikasi mengenai mikroplastik (Can-Guven, 2020).

Salah satu metode analisis mikroplastik adalah FTIR (*Fourier Transform Infrared*) Spektroskopi, yang merupakan metode spektroskopi dengan sinar infra merah. Metode ini memiliki keunggulan yaitu dapat membedakan sidik jari (*fingerprint*) spectrum setiap polimer meskipun masih dalam bahan alaminya. Namun, metode ini juga memiliki beberapa kelemahan seperti untuk mikroplastik yang berukuran sangat kecil harus dipilih secara visual, dan ada kemungkinan partikel transparan yang kecil terlewatkan selama pemilihan (Primpke *et al.*, 2017). Beberapa pengembangan metode FTIR Spektroskopi yang ada juga masih terdapat kelemahan. Salah satunya adalah pada penelitian sebelumnya (Hantoro *et al.*, 2020) yang menggunakan ATR-FTIR dijumpai kelemahan yaitu *time-consuming* karena mendeteksi *point-by-point* (Shim *et al.*, 2017). Selain itu, dengan beragamnya metode deteksi dapat menimbulkan variasi kesimpulan (bias) dalam analisis mikroplastik. Sehingga dalam

penelitian ini dikembangkan metode identifikasi mikroplastik menggunakan mikro-FTIR dengan pendekatan *mapping* yang dapat memastikan tidak ada partikel yang terlewat, dan analisis dilakukan secara otomatis tanpa pemilahan visual oleh peneliti. Diharapkan metode yang dikembangkan ini akan memberikan sumbangan pada masalah standarisasi dalam identifikasi dan analisis mikroplastik.

Penggunaan mikro-FTIR dengan pendekatan *mapping* tergolong baru, sehingga perlu dilakukan optimasi untuk menghasilkan pembacaan yang baik, berupa skor kesamaan (dengan referensi) yang tinggi. Beberapa parameter pada alat yang perlu dioptimasi yaitu aperture dan jumlah pemindaian. Hal ini dikarenakan kedua hal tersebut dinilai dapat mempengaruhi hasil pembacaan oleh alat. Pada penelitian ini menggunakan polietilena (PE) dan turunannya serta polietilena tereftalat (PET) sebagai objek penelitian. Berdasarkan PlasticsEurope (2021) lima permintaan plastik dengan persentase tertinggi, yaitu polipropilena (PP), polietilena densitas rendah (LDPE)/polietilena densitas rendah linier (LLDPE), polietilena densitas tinggi (HDPE)/polietilena densitas sedang (MDPE), polivinil klorida (PVC), dan polietilena tereftalat (PET). Selain itu, LDPE, HDPE, dan PET mudah ditemukan.

1.2. Tinjauan Pustaka

1.2.1. Permasalahan Plastik dan Mikroplastik

Produksi plastik skala besar dimulai pada awal 1950-an, dan pada 2020 produksi plastik di seluruh dunia mencapai 367 juta ton per tahun (Plasticseurope, 2021). Plastik adalah suatu polimer yang sangat populer karena sifat-sifatnya, antara lain ringan, kuat dan mudah dibentuk apabila terpapar panas dan tekanan, anti karat dan tahan terhadap bahan kimia, mempunyai sifat isolasi listrik yang tinggi, dapat dibuat berwarna maupun transparan (Mujiarto, 2005). Untuk meningkatkan kinerjanya, dalam pembuatan plastik biasanya ditambahkan aditif seperti *plasticizer*, antioksidan, *flame retardants* (penghambat api), stabilisator ultraviolet, pelumas dan pewarna (Brate *et al.*, 2017). Menurut Sistem Informasi Pengelolaan Sampah Nasional (2021), produksi sampah plastik di Indonesia mencapai lebih

dari 16% dari total sampah pada tahun 2021. Jambeck *et al.* (2015) menyatakan bahwa sekitar 4,8 hingga 12,7 juta metrik ton sampah plastik diperkirakan masuk ke laut setiap tahun.

PlasticsEurope (2021) merilis publikasi tentang distribusi permintaan plastik berdasarkan jenisnya pada tahun 2020, lima jenis plastik dengan persentase tertinggi yaitu PP (19,4%), LDPE/LLDPE (17,4%), HDPE/MDPE (12,9%), PVC (9,6%), PET (8,4%). Karakteristik beberapa polimer terdapat dilihat pada Tabel 2.

Tabel 1. Karakteristik Beberapa Jenis Polimer

Jenis Plastik	Densitas (g cm ⁻³)	Titik Leleh (°C)
Polipropilena (PP)	0,85-0,92	160-170
Polietilena Tereftalat (PET)	1,38-1,41	245-265
Polietilena Densitas Tinggi (HDPE)	0,94-0,98	130-137
Polistirena (PS)	1,04-1,06	240
Polivinil Klorida (PVC)	1,38-1,41	175
Polietilena Densitas Rendah (LDPE)	0,89-0,93	115

Sumber: Stuart (2002)

Plastik dapat dijumpai dalam dua bentuk: limbah plastik besar, dan partikel plastik kecil berukuran ≤ 5 mm yang disebut mikroplastik (Brate *et al.*, 2017). Mikroplastik dapat dibagi menjadi 2 jenis, yaitu mikroplastik primer dan mikroplastik sekunder. Mikroplastik primer merupakan plastik yang langsung dilepaskan ke lingkungan dalam bentuk partikulat kecil, seperti perlengkapan mandi, kosmetik, kegiatan pertanian, dan kegiatan perikanan. Sedangkan mikroplastik sekunder berasal dari hasil degradasi barang plastik yang lebih besar menjadi pecahan plastik yang lebih kecil setelah terpapar lingkungan laut (Boucher & Friot, 2017). Lingkungan laut tersebut antara lain kekuatan mekanis (angin, ombak, gigitan hewan, dan aktivitas manusia), mikroorganisme, dan fotodegradasi karena radiasi sinar UV matahari sehingga menyebabkan plastik menjadi rapuh sehingga berubah menjadi fragmen (GESAMP, 2015). Selain itu, mikroplastik sekarang dikenal sebagai polutan dan partikulat atmosfer. Studi terbaru telah menunjukkan keberadaan mikroplastik di udara (Zhang *et al.*, 2020).

Mikroplastik dapat diklasifikasikan berdasarkan bentuk, yaitu fragmen, serat, manik-manik, busa, dan butiran. Fragmen dapat berupa partikel tidak beraturan, kristal, bulu, bubuk, granula, potongan, serpihan. Serat dapat berupa filamen, mikrofiber, helaian, dan benang. Manik-manik dapat terdiri dari biji, bulatan manik kecil, dan bulatan mikro. Butiran dapat berupa butiran resinat, nurdles, dan nib (Widianarko & Hantoro, 2018). Chen *et al.* (2020) menyatakan bahwa komponen polimer mikroplastik dominan berasal dari PP, PE, PS dan PET.

1.2.2. Analisis Mikroplastik dan Permasalahan Standarisasi

Metode deteksi mikroplastik sudah cukup berkembang. Metode deteksi tersebut antara lain dengan identifikasi secara visual, *Scanning Electron Microscopy* (SEM), *Attenuated Total Reflection-Fourier Transform Infrared* (ATR-FTIR), *Micro-FTIR*, *Raman Spectroscopy*, *Pyrolysis Gas Chromatography and Mass Spectroscopy* (Pyrolysis-GC/MS), dan *Thermal Desorption System-Gas Chromatography and Mass Spectroscopy* (TDS-GC/MS) (Shim *et al.*, 2017; Mai *et al.*, 2018). Komparasi masing-masing metode deteksi dapat dilihat pada Tabel 1.

Berdasarkan komparasi metode deteksi Tabel 1. dapat dilihat bahwa setiap instrumen analisis untuk mengidentifikasi memiliki keterbatasan masing-masing. Variasi metode pengambilan sampel, ekstraksi, kuantifikasi, dan identifikasi serta penjaminan mutu analisis masih menjadi hambatan untuk mendapatkan hasil yang valid. Ragam metode identifikasi juga memberikan akurasi yang bervariasi. Faktor lain yang menjadikan identifikasi mikroplastik sangat menantang adalah karena ukurannya yang sangat kecil dan sangat beragam, yaitu 0,1 μm -5000 μm (Brate *et al.*, 2017).

Tabel 2. Komparasi Berbagai Jenis Metode Identifikasi Mikroplastik

No.	Metode	Prinsip	Kelebihan	Kelemahan
1.	Visual Identification	Pengamatan secara langsung pada pecahan plastik berukuran 2–5 mm dengan mata telanjang	Mudah, sederhana dan cepat	Mikroplastik kurang/tidak dapat diamati dengan baik
2.	Scanning Electron Microscopy (SEM)	Pemindaian berkas elektron yang berinteraksi dengan sampel sehingga menghasilkan berbagai sinyal yang dapat digunakan untuk memperoleh informasi tentang topografi permukaan dan komposisi.	Dapat memberikan gambar partikel seperti plastik dengan pembesaran tinggi dan sangat jelas	Peralatan mahal, <i>time consuming</i> , terbatas untuk mikroplastik tipis
3.	ATR-FTIR	Refleksi internal total di mana cahaya inframerah (IR) dan sampel berinteraksi hanya pada titik di mana cahaya IR dipantulkan.	Menghasilkan spektrum yang stabil dari permukaan mikroplastik yang tidak beraturan	Hanya cocok untuk menganalisis partikel yang lebih besar dari 500 μm , tekanan yang dihasilkan oleh probe ATR dapat merusak mikroplastik yang sangat lapuk atau rapuh, hanya menganalisis pada titik tertentu (<i>time consuming</i>)
4.	Micro-FTIR	Identifikasi dan penghitungan partikel mikroplastik langsung pada kertas saring setelah	Data berkualitas tinggi dan menghemat waktu pengukuran, dapat mendeteksi partikel plastik hingga ukuran 20 μm dan mencakup area permukaan	Kurang baik dalam memperoleh spektrum mikroplastik dengan bentuk tidak beraturan

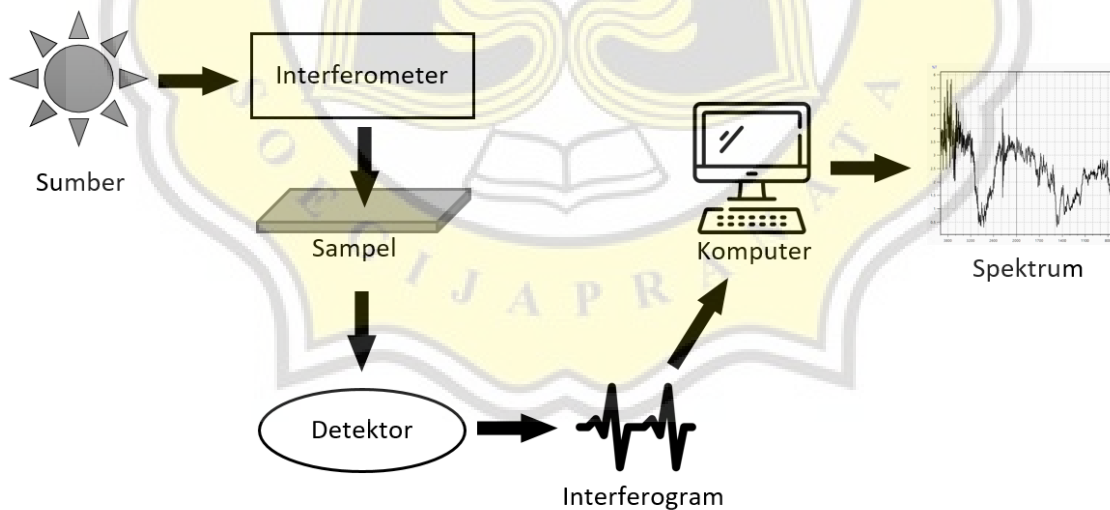
Tabel 2. Komparasi Berbagai Jenis Metode Identifikasi Mikroplastik

No.	Metode	Prinsip	Kelebihan	Kelemahan
		dikeringkan pada suhu 60 °C	filter yang besar (diameter >10 mm)	
5.	Raman Spectroscopy	Penembakan sinar laser terhadap sampel sehingga menghasilkan frekuensi cahaya	Menyediakan profil komposisi polimer dari setiap sampel	Sensitif terhadap bahan kimia aditif dan pigmen dalam mikroplastik sehingga mengganggu identifikasi jenis polimer
6.	Pyrolysis-GC/MS	Pemecahan sampel dengan pemanasan sehingga menjadi fragmen/komponen stabil yang lebih kecil (pirolisat) kemudian dipisahkan secara kromatografis	Dapat menganalisis jenis polimer dan aditif organik mikroplastik secara bersamaan	Hanya dapat mendeteksi satu partikel pada satu waktu (<i>time consuming</i>), dibatasi oleh ukuran lubang tabung pirolisis (<1 mm).
7.	TDS-GC/MS	Desorpsi termal pada dasarnya melibatkan pengumpulan senyawa organik yang mudah menguap ke absorben, dan kemudian memanaskan absorben ini dalam aliran gas untuk melepaskan senyawa dan memusatkannya ke dalam volume yang lebih kecil.	Dibandingkan dengan Pyr-GC / MS, TDS-GC / MS dapat memproses massa sampel yang lebih besar dan mengukur matriks yang lebih kompleks	Hanya dapat menghasilkan massa dari setiap jenis mikroplastik tetapi tidak dapat menghitung jumlah partikel

Sumber: (Shim *et al.*, 2017; Mai *et al.*, 2018).

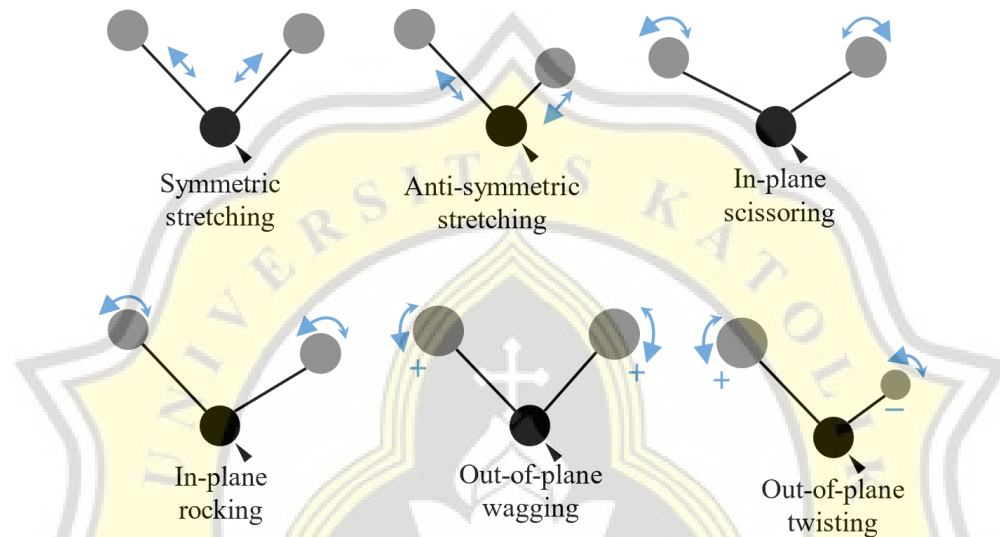
1.2.3. Mikro-FTIR dengan Metode *Mapping*

Salah satu instrumen yang dapat digunakan untuk mengidentifikasi dan menganalisis mikroplastik adalah FTIR (*Fourier Transform Infrared*) spektroskopi. Instrumen ini dipilih karena memiliki beberapa kelebihan seperti yang dapat dilihat pada Tabel 2. Cara kerja instrumen FTIR yaitu dengan menghasilkan pancaran radiasi inframerah, yang dipancarkan dari sumber benda hitam yang bersinar. Selanjutnya, berkas cahaya melewati interferometer dimana pengkodean spektral berlangsung. Rekombinasi balok dengan panjang jalur yang berbeda di interferometer menciptakan interferensi konstruktif dan destruktif yang disebut interferogram. Berkas cahaya kemudian pisah, dan diarahkan pada cermin tetap dan cermin bergerak. Berkas cahaya tersebut digabungkan kembali (menyebabkan interferensi) dan akhirnya diarahkan ke bahan sampel dan sampel menyerap frekuensi energi tertentu, yang merupakan karakteristik unik sampel dari interferogram. Informasi spektral dari semua panjang gelombang diperoleh secara bersamaan sehingga menghemat banyak waktu. Selanjutnya, detektor mengukur sinyal interferogram khusus dalam energi terhadap waktu untuk semua frekuensi secara bersamaan. Kemudian spektra akan ditampilkan pada *software* yang terhubung dengan instrumen FTIR (Mohamed *et al.*, 2017).



Gambar 1. Komponen Instrumen FTIR
Sumber: Mohamed *et al.* (2017)

Berkas inframerah berinteraksi dengan sampel melalui ikatan yang bergetar. Ketika berkas diserap, ikatan pada molekul sampel memiliki sedikit energi sehingga dapat bergetar pada frekuensi tinggi. Namun, ikatan yang bergetar tidak memiliki panjang yang pasti, tetapi dapat meregang (*stretch*) dan memampat (*compress*) yang disebut *stretching vibration*. Selain itu, juga dapat menekuk (*bend*), disebut *bending vibration* (Schaller, 2019).



Gambar 2. Tipe-Tipe Getaran Molekul
Sumber: Gaifulina (2016)

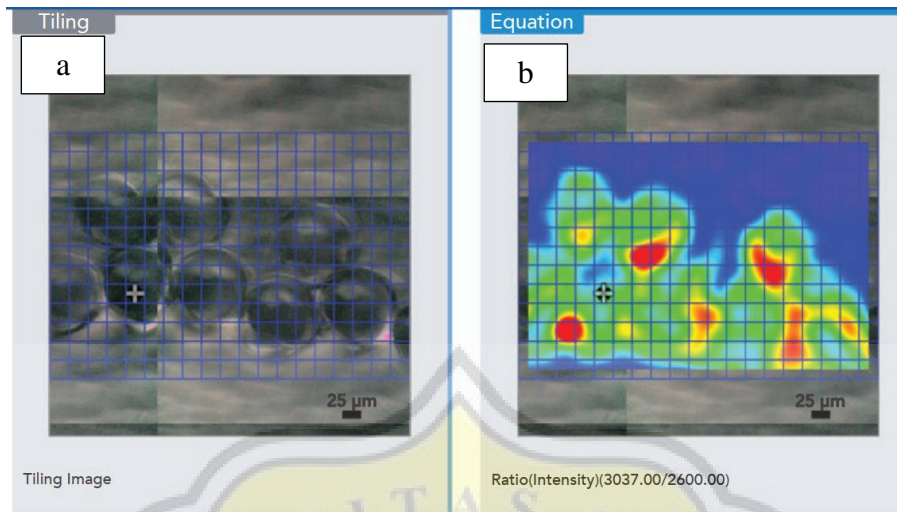
Kriteria suatu molekul untuk menunjukkan spektrum inframerah adalah adanya momen dipol permanen molekul yang berubah selama getaran molekul. Momen dipol terjadi ketika dua atom dalam molekul memiliki elektronegativitas yang sangat berbeda. Satu atom dapat menarik elektron lebih banyak dari yang lain, sehingga menjadi lebih negatif, sedangkan atom lainnya menjadi lebih positif. Molekul dengan momen dipol permanen disebut molekul polar (Anon, 2020).

FTIR spektroskopi memiliki keunggulan yaitu dapat mendeteksi spektrum sidik jari (*fingerprint*) setiap polimer terdapat dari bahan alami. Namun ada beberapa kelemahan yang ditemukan pada metode analisis menggunakan mikro-FTIR, antara lain yaitu akurasi yang rendah untuk mengidentifikasi mikroplastik yang berukuran sangat kecil dan partikel yang diduga mikroplastik harus dipilih secara visual oleh operator yang dapat menimbulkan bias

dalam analisis. Selain itu, partikel transparan atau tembus cahaya serta partikel yang sangat kecil mungkin terlewatkan selama pemilihan awal (Primpke *et al.*, 2017).

Detektor yang digunakan yaitu *Mercury Cadmium Telluride* (MCT) yang merupakan fotokonduktor. Ketika MCT menyerap sinar inframerah, electron akan terlempar sehingga menghasilkan arus listrik. Kelebihan detektor MCT adalah lebih cepat dan lebih tidak banyak *noise* dibandingkan detektor *deuterated triglycerine sulfite* (DTGS) yang biasanya digunakan. Namun, untuk mengurangi *noise*, detektor MCT harus didinginkan dengan nitrogen cair (Smith, 2011).

Dalam penelitian menggunakan metode *mapping*, dimana spektrum inframerah pada setiap titik pengambilan sampel diukur dan diintegrasikan, dan parameter seperti *peak* pada area tertentu kemudian digunakan untuk memetakan distribusi kelompok fungsional target (Chen *et al.*, 2015). Hal ini akan mempercepat waktu analisis, karena akan dapat menganalisis dalam area yang luas dalam satu waktu. Informasi yang diperoleh dari pemetaan seringkali bersifat kualitatif; namun, beberapa informasi kuantitatif juga dapat diperoleh dengan analisis data lebih lanjut. Pengukuran pemetaan dalam mode refleksi dapat memberikan analisis kualitatif yang relatif cepat dari sampel mikroplastik di area yang berpotensi besar (Zhao *et al.*, 2020). Gambaran *mapping* pada instrumen mikro-FTIR dapat dilihat pada Gambar 3.



Gambar 3. Gambaran Mapping

Keterangan: area *mapping* (a); *mapping* komponen kimia sampel (b)

Sumber: Zhao *et al.* (2020)

1.2.4. Faktor yang Mempengaruhi Spektrum Infra Merah

Luaran (*output*) hasil identifikasi menggunakan instrumen FTIR adalah berupa spektrum. Pada spektrum memuat berbagai informasi mengenai komponen yang terdeteksi. Beberapa faktor yang mempengaruhi spektrum yaitu:

1. Ketebalan Partikel

Tujuan pengepresan dilakukan agar sisi yang ditembak dengan sinar inframerah tidak terlalu tebal. Jika sisi yang ditembak dengan sinar inframerah terlalu tebal maka sinar inframerah juga akan terhambur dengan tidak optimal. Hal ini menyebabkan puncak-puncak yang terjadi pada spektrum inframerah tidak akurat lagi dan puncaknya juga akan melebar. Kuat tekan merupakan kapasitas dari suatu bahan atau struktur dalam menahan beban yang akan mengurangi ukurannya. Beberapa bahan akan patah pada batas tekan dan beberapa mengalami deformasi yang tidak dapat dikembalikan. Deformasi tertentu dapat dianggap sebagai batas kuat tekan, meski belum patah, terutama pada bahan yang tidak dapat kembali ke kondisi semula (Sulistiyani, 2018).

2. Kandungan Uap Air

Hasil spektrum uap air memiliki cakupan yang luas, sehingga dapat menyulitkan ketika membaca spektrum. Hal ini didukung oleh penelitian Moraes *et al.* (2008), bahwa

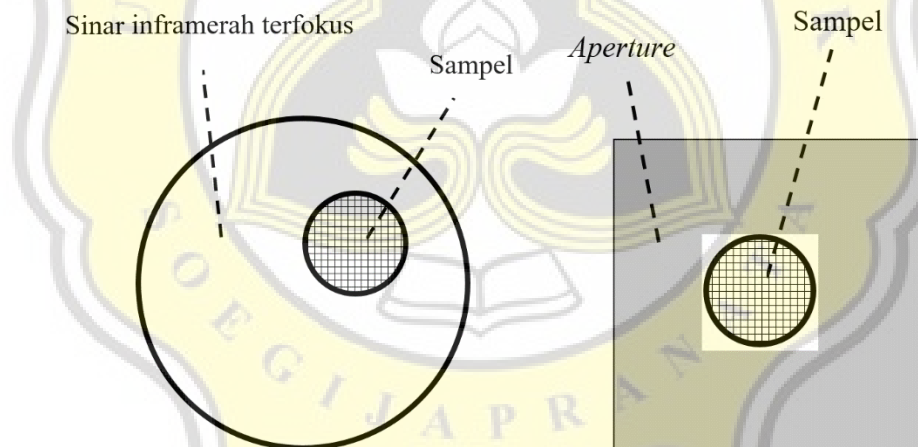
perbedaan konsentrasi uap air dapat meningkatkan pembentukan spektrum akhir. Untuk mengatasi masalah ini, spektrometer harus dibersihkan dalam gas (disarankan nitrogen kering), atau sampel dipreparasi dengan pengeringan.

3. Jumlah dan Konsentrasi Sampel

Jumlah dan konsentrasi sampel berpengaruh terhadap spektrum yang dihasilkan, sehingga menyulitkan dalam pembacaan spektrum. FTIR merupakan instrumen yang sangat sensitif, sehingga hanya dibutuhkan miligram bahan untuk mendapatkan spektrum yang baik (Smith, 2011).

4. Aperture

Aperture merupakan bukaan diafragma yang menentukan ukuran dan bentuk berkas inframerah dan digunakan untuk menghalangi cahaya yang menyimpang sehingga berkas inframerah tepat mengenai sampel (Smith, 2011).



Gambar 4. Ilustrasi *aperture*
Sumber: Smith (2011)

5. Jumlah Pemindaian (*Scanning*)

Pada saat penggunaan instrumen, untuk mengukur interferogram menggunakan interferometer Michelson, cermin digerakkan bolak-balik. Hal ini disebut *scanning* (pemindaian). Interferogram yang diukur saat pemindaian adalah Fourier yang ditransformasikan untuk menghasilkan spektrum, oleh karena itu disebut Fourier

Transform Infrared (FTIR) Spektroskopi. Jumlah *scanning* untuk mengukur spektrum disesuaikan dengan mengetikkan nomor yang diinginkan di tempat yang disediakan dari program perangkat lunak FTIR. Cermin akan digerakan sesuai jumlah *scanning* yang dipilih, kemudian hasil pengukuran interferogram akan dirata-rata lalu dikirim ke *software* terintegrasi (Smith, 2011).

1.2.5. *Response Surface Method (RSM)*

Metode ini pertama kali dikenalkan oleh Box dan Wilson pada tahun 1951. RSM adalah kumpulan teknik statistik dan matematika yang berguna untuk mengembangkan, meningkatkan, dan mengoptimalkan proses (Myers *et al.*, 2009). Metode ini digunakan untuk membuat model dan menganalisa respon y yang dipengaruhi oleh beberapa variabel bebas/faktor x untuk mendapatkan respon yang optimal.

RSM memiliki 2 tipe utama, yaitu (Minitab, 2022):

1. *Central Composite Design (CCD)*

Desain komposit pusat adalah desain faktorial atau fraksional faktorial dengan titik pusat, ditambah dengan sekelompok titik aksial (juga disebut titik bintang) yang memungkinkan dapat memperkirakan kelengkungan. Titik aksial biasanya dilambangkan sebagai (α) meningkatkan jumlah level ke 5 tingkat sehingga memberikan fleksibilitas desain eksperimental.

2. *Box-Behnken Design*

Desain Box-Behnken biasanya memiliki poin desain yang lebih sedikit daripada desain komposit pusat. Desain ini memungkinkan estimasi yang efisien dari koefisien orde pertama dan kedua. Desain Box-Behnken selalu memiliki 3 level per faktor. Juga tidak seperti desain komposit pusat, desain Box-Behnken tidak pernah menyertakan *run* di mana semua faktor berada pada pengaturan ekstrimnya, seperti semua rendah pengaturan. Desain Box-Behnken adalah jenis desain permukaan respons yang tidak mengandung desain faktorial atau faktorial fraksional yang disematkan, sehingga tidak cocok untuk eksperimen sekuensial.

Prosedur desain dengan menggunakan RSM terdiri dari langkah-langkah berurutan berikut: (1) mendefinisikan faktor independen dan respons yang diinginkan, (2) memilih strategi desain yang tepat agar sesuai permukaan respons, (3) mengkonfirmasi model yang dipasang dengan menggunakan analisis varians (ANOVA) dan inferensi statistik, dan (4) menentukan set kondisi operasi yang optimal (Li *et al.*, 2020).

1.2.6. Proses *Weathering* Partikel Plastik

Dalam studi mikroplastik, para peneliti melakukan simulasi proses degradasi plastik untuk dapat diteliti lebih lanjut, proses ini disebut *weathering*. Proses *weathering* perlu dipelajari karena degradasi plastik berpotensi mempengaruhi konsumsi organisme akuatik untuk mikroplastik karena perubahan ukuran, warna dan muatan permukaan. Selain itu, cairan alkali yang mengandung aditif dan/atau senyawa turunan MP berpotensi menimbulkan efek toksik pada organisme (Liu *et al.*, 2020). Salah satu proses *weathering* yang dilakukan dalam penelitian adalah sonikasi menggunakan instrumen ultrasonik. Proses sonikasi dimaksudkan untuk mempersiapkan sampel yang semula berukuran besar (makroplastik) menjadi berukuran lebih kecil (mikroplastik) sehingga menyerupai ukuran yang ditemui pada sampel *seafood* untuk penelitian lanjutan.

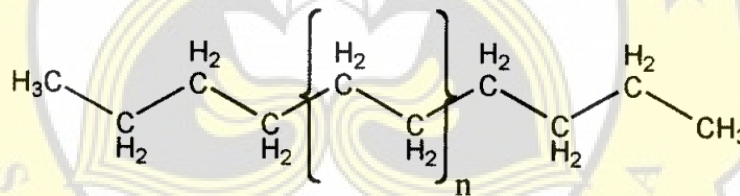
Dalam proses sonikasi memerlukan media cair sebagai medianya. Sonikasi akan menciptakan rongga dalam media cair yang melepaskan energi sehingga menciptakan kondisi pirolitik lokal dan pelepasan radikal (H_2O_2) dari air. Radikal akan memberikan kondisi oksidasi. Dalam ukuran molekul, pergerakan yang cepat dari media cair tidak dapat diimbangi oleh makromolekul (sampel plastik) sehingga terjadi gesekan yang menyebabkan pemutusan ikatan dari makromolekul, terutama pada transisi amorf dan kristal. Kondisi ini dimanfaatkan untuk menginduksi pemotongan polimer melalui kerusakan fisik serta degradasi polimer radikal (von der Esch, 2020). Efek ultrasound dibagi menjadi efek kimia dan mekanik; suhu tinggi bertanggung jawab untuk efek kimia seperti pembentukan radikal dan sonoluminescence (misi cahaya dari ledakan gelembung dalam cairan ketika tereksitasi

oleh suara), sedangkan gradien geser yang kuat menginduksi efek mekanis yaitu kerusakan polimer (sampel) (Paulusse & Sijbesma, 2006).

1.2.7. Polimer yang Digunakan

1. PE dan Turunannya

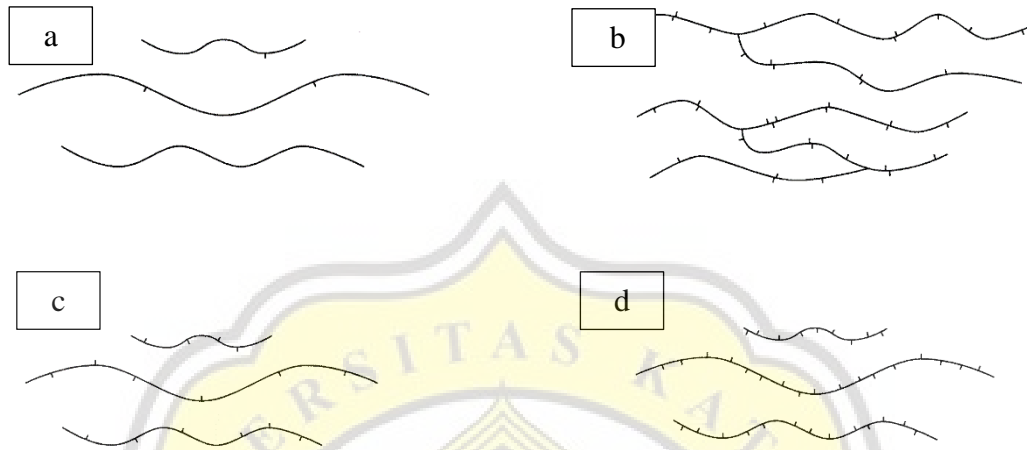
PE adalah polimer yang termasuk ke dalam kelas poliolefin yang umum digunakan dalam kehidupan sehari-hari karena kerapatannya yang rendah (PlasticsEurope, 2018). Dalam bentuk yang sederhana, molekul polietilena terdiri atas rantai utama dari sejumlah genap atom karbon yang terikat secara kovalen dengan sepasang atom hidrogen yang terikat pada setiap karbon dan pada ujung rantai diakhiri oleh gugus metil. Secara kimia, polietilena terdiri dari alkana dengan formula $C_{2n}H_{4n+2}$, dimana n merupakan derajat polimerisasi (jumlah monomer etilen yang dipolimerisasi untuk membentuk rantai). Tidak seperti material organik lain, polietilena tidak terdiri dari molekul identik (Peacock, 2000).



Gambar 5. Struktur Kimia Polietilena
Sumber: Peacock (2000)

Polietilena memiliki beberapa jenis yang terbentuk karena adanya rantai cabang yang memodifikasi sifat aslinya. Rantai cabang dapat tersusun dari gugus alkil sederhana hingga asam dan ester, bahkan pada tingkat yang lebih rendah dapat tersusun dari kelompok vinil pada ujung rantai. Dalam keadaan padat, rantai cabang juga mempengaruhi kristalinitas, semakin sedikit rantai cabang maka kristalinitasnya semakin tinggi dan densitasnya juga semakin besar. Umumnya, semakin tinggi konsentrasi cabang, semakin rendah densitasnya. Turunan PE yang umum yaitu, HDPE, LDPE, LLDPE, VLDPE, kopolimer etilen-vinil ester, ionomer (kopolimer

etilena dan asam akrilat yang telah dinetralkan), dan polietilena ikatan silang (*cross-linked polyethylene – XLPE*) (Peacock, 2000).



Gambar 6. Representasi Skematis Beberapa Jenis Polietilena
(a) HDPE; (b) LDPE; (c) LLDPE; (d) VLDPE
Sumber: Peacock (2000)

Pada Gambar 4. Terlihat bahwa HDPE memiliki rantai cabang yang paling sedikit yang mengakibatkan HDPE memiliki densitas dan kristalinitas relatif paling tinggi dibandingkan jenis yang lainnya. Pada LLDPE, rantai utama terikat dengan rantai cabang pendek pada interval acak, sehingga LLDPE dapat dianggap sebagai kompromi antara polietilena linier dan polietilena densitas rendah (LDPE). Polimer PE dan turunannya memiliki *fingerprint* dalam spektra inframerah yang dapat dilihat pada Tabel 3.

Tabel 3. *Fingerprint* Spektra Inframerah PE dan Turunannya

Jenis Polimer	Peak spektra IR (cm ⁻¹)	Keterangan
PE	2927	<i>Asymmetric CH₂ stretch</i>
	2852	<i>Symmetric CH₂ stretch</i>
	1475, 1463	<i>CH₂ scissors vibration</i>
	730, 720	<i>CH₂ rocking</i>
HDPE	2927	<i>Asymmetric CH₂ stretch</i>
	2852	<i>Symmetric CH₂ stretch</i>
	1475, 1463	<i>CH₂ scissors vibration</i>
	730, 720	<i>CH₂ rocking</i>
	990/910	<i>Terminal vinyl group</i>

Tabel 3. *Fingerprint* Spektra Inframerah PE dan Turunannya

Jenis Polimer	Peak spektra IR (cm ⁻¹)	Keterangan
LDPE	2927	<i>Asymmetric CH₂ stretch</i>
	2852	<i>Symmetric CH₂ stretch</i>
	1475, 1463	<i>CH₂ scissors vibration</i>
	730, 720	<i>CH₂ rocking</i>
	1377	<i>CH₃ groups</i>
	910	<i>Terminal vinyl group</i>
	775	<i>Ethyl branching</i>
LLDPE	2927	<i>Asymmetric CH₂ stretch</i>
	2852	<i>Symmetric CH₂ stretch</i>
	1475, 1463	<i>CH₂ scissors vibration</i>
	730, 720	<i>CH₂ rocking</i>
	1377	<i>CH₃ groups</i>
	910	<i>Terminal vinyl group</i>
	890	<i>Vinylidene group</i>
775	<i>Ethyl branching</i>	

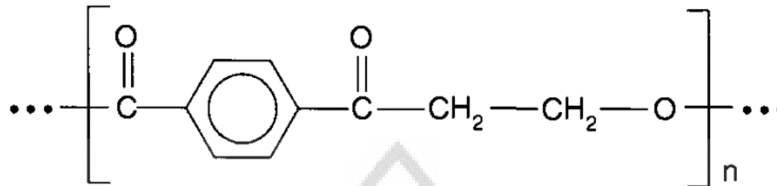
Sumber: Lobo & Bonilla, 2003

Pembeda ketiga jenis turunan PE (HDPE, LDPE, dan LLDPE) dapat dilihat dari spektra inframerah pada area 1400-1350 cm⁻¹ dan 100-850 cm⁻¹. LDPE dan LLDPE memiliki 3 *peak* pada area 1400-1350 cm⁻¹, sedangkan HDPE hanya memiliki 2 *peak*. *Peak* pembeda tersebut berada pada 1377 cm⁻¹, namun intensitasnya lebih tinggi pada LDPE daripada LLDPE.

2. PET

Polietilena tereftalat (PET) merupakan salah satu jenis polimer yang termasuk dalam poliester. Struktur kimia PET terdiri dari subunit etilena glikolat dan tereftalat yang dihubungkan melalui ikatan ester. PET termasuk poliester termoplastik semi-aromatik yang diperoleh melalui reaksi kondensasi reaktan difungsional. PET memiliki formula (C₁₀H₈O₄)_n. PET umumnya diproduksi melalui reaksi esterifikasi antara asam tereftalat dan etilen glikol dengan air sebagai produk sampingan atau dengan reaksi transesterifikasi antara etilen glikol dan dimetil tereftalat dengan metanol sebagai produk sampingan. PET menemukan banyak aplikasi karena kemudahan mesin, kekuatan tinggi, stabilitas dimensi pada rentang suhu yang luas, kejernihan kristal, kemampuan cetak, kelembaban dan ketahanan pelarut, penghalang

terhadap oksigen dan uap air (Thomas & Visakh, 2011). Polimer PET memiliki *fingerprint* dalam spektra inframerah yang dapat dilihat pada Tabel 4.



Gambar 7. Struktur Kimia PET
Sumber: Thomas & Visakh (2011)

Tabel 4. *Fingerprint* Spektra Inframerah PET

Jenis Polimer	<i>Fingerprint</i> spektra IR (cm ⁻¹)	Keterangan
PET	3432	<i>OH group (hydroxyl)</i>
	3054	<i>Symmetric CH stretch</i>
	2969, 2908	<i>Symmetric C-H stretch</i>
	2350	<i>CO₂ axial symmetric deformation</i>
	1730	<i>C=O stretch</i>
	1577, 1504	<i>C=C aromatic stretch</i>
	1453, 1410, 1342	<i>C-O group stretching of the O-H group deformation and ethylene glycol bending and wagging vibration</i>
	1240, 1124	<i>Terephthalate Group (OOC₆H₄-COO)</i>
	1096, 1050	<i>Methylene group and ester C-O bond vibrations</i>
	972, 872, 848	<i>Aromatic rings 1,2,4,5; Tetra replaced</i>
1960, 795	<i>Adjacent two aromatic H vibration and aromatic bands</i>	
712	<i>Polar ester groups and benzene ring interaction</i>	

Sumber: Pereira *et al* (2017)

1.3. Tujuan Penelitian

Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengetahui pengaruh *aperture* dan jumlah *scanning* terhadap hasil analisis; mengetahui pengaruh proses sonikasi terhadap hasil mikroplastik *internal standard*; mengetahui karakteristik PE dan turunannya (LDPE dan HDPE), dan PET; mengetahui faktor lain yang mempengaruhi hasil pengujian menggunakan FTIR-*imaging microscopy*; serta melakukan pengembangan metode standar identifikasi mikroplastik dalam bahan pangan berbasis FTIR-*imaging microscopy* dengan menggunakan pendekatan *mapping*.

