



ARTIKEL PENELITIAN

Pengaruh kombinasi antara fotodegradasi dan H₂O₂ terhadap karakteristik mikroplastik dari limbah *disposable face mask*

Feerzet Achmad^{1,*}, Devita Amelia¹, Arie Sabdi Sembiring¹, Novia Putri Ananda¹, Melbi Mahardika²

¹Program Studi Teknik Kimia, Jurusan Teknik Proses & Hayati, Institut Teknologi Sumatera, Jl. Terusan Ryacudu, Way Huwi, Kec. Jati Agung, Kabupaten Lampung Selatan, Lampung 35365

²Pusat Riset Biomassa dan Bioproduct. Badan Riset dan Inovasi Nasional (BRIN), Bogor 16911

Disubmit 09 Juli 2022; direvisi 07 Agustus 2022; diterima 18 Agustus 2022



OBJECTIVES This study aims to obtain the effect of UV irradiation duration and the addition of H₂O₂ on the characteristics of microplastics resulting from photodegradation of disposable face mask (DFM) waste. DFM or disposable masks made of polypropylene have high hydrophobic properties, so the degradation process cannot take place optimally. **METHODS** UV photodegradation and the addition of H₂O₂ modify the microplastics' chemical structure by forming active functional groups (carbonyl and hydroxyl groups). UV photodegradation will be carried out by varying the length of UV irradiation time, namely 24; 36; 48; 60; 72 hours for both samples without and with the addition of H₂O₂ 1% v/v. **RESULTS** The results of the photodegradation process were characterized based on the content of the sample, namely changes in chemical structure which were analyzed using Fourier Transform Infrared (FTIR). The changes in surface morphology of microplastics were analyzed using a binocular microscope. The percentage of weight loss of microplastics was analyzed using the gravimetric method. The best results of photodegradation without H₂O₂ occurred at 36 hours and the best results of photodegradation with the addition of H₂O₂ occurred at 60 hours. Based on the largest decrease in the percent transmittance of the carbonyl group (C=O), which was analyzed using FTIR, there was a decrease in hydrophobicity in DFM, although not significant. **CONCLUSIONS** Adding H₂O₂ 1% v/v did not have a significant effect on changes in the characteristics of the photodegraded sample, as evidenced by the results of FTIR

analysis. Changes in the surface structure of the DFM sample and the weight lost from the sample after the photodegradation process. The weight lost from the sample after the photodegradation process was 0.43% without the addition of H₂O₂ and 0.29% with the addition of H₂O₂ with an irradiation time of 72 hours $\alpha < 1\%$.

KEYWORDS disposable face mask; H₂O₂; microplastics; photodegradation; UV lights

TUJUAN Penelitian ini dilakukan untuk mengetahui pengaruh lama iradiasi sinar UV dan penambahan H₂O₂ terhadap karakteristik mikroplastik limbah *disposable face mask* (DFM). DFM atau masker sekali pakai terbuat dari bahan polipropilen memiliki sifat hidrofobik yang tinggi sehingga proses degradasi tidak dapat berlangsung secara maksimal. **METODE** Fotodegradasi UV dan penambahan H₂O₂ adalah salah satu metode yang dapat digunakan untuk memodifikasi struktur kimia dari mikroplastik dengan membentuk gugus fungsi aktif seperti gugus karbonil dan gugus hidroksil. Fotodegradasi sinar UV dilakukan dengan memvariasikan lama waktu iradiasi sinar UV yaitu 24; 36; 48; 60; 72 jam untuk sampel tanpa dan dengan penambahan H₂O₂ 1% v/v. **HASIL** Hasil proses fotodegradasi dikarakterisasi berdasarkan kandungan dari sampel, yaitu perubahan struktur kimia yang dianalisis menggunakan *Fourier Transform Infrared* (FTIR), perubahan morfologi permukaan mikroplastik dianalisis menggunakan mikroskop binokuler dan persentase penurunan berat mikroplastik dianalisis menggunakan metode gravimetri. Pada penelitian ini didapatkan hasil terbaik fotodegradasi tanpa H₂O₂ terjadi pada waktu 36 jam dan hasil terbaik fotodegradasi dengan kombinasi penambahan H₂O₂ terjadi pada waktu 60 jam berdasarkan penurunan persen transmittansi terbesar gugus karbonil (C=O) yang dianalisis menggunakan FTIR sehingga terjadi penurunan hidrofobitas pada DFM walaupun tidak signifikan. **KESIMPULAN** Penambahan H₂O₂ 1% v/v tidak memberikan pengaruh signifikan terhadap perubahan karakteristik sampel yang difotodegradasi yang dibuktikan dengan hasil analisis FTIR, perubahan struktur permukaan sampel DFM dan berat yang hilang dari sampel DFM setelah proses fotodegradasi. Berat yang hilang dari sampel setelah proses fotodegradasi sebesar 0,43% tanpa

*Korespondensi: feerzet.achmad@tk.itera.ac.id

penambahan H₂O₂ dan 0,29% dengan penambahan H₂O₂ dengan waktu iradiasi selama 72 jam $\alpha < 1\%$.

KATA KUNCI *disposable face mask*; fotodegradasi; H₂O₂; mikroplastik; sinar UV

1. PENDAHULUAN

Penyebaran virus Covid-19 dapat dikendalikan dan dibatasi dengan penggunaan masker *disposable face mask* (DFM), yang direkomendasikan oleh Badan Kesehatan Dunia (WHO). Namun, penggunaan DFM memunculkan masalah baru bagi lingkungan yaitu penumpukan limbah DFM yang terurai menjadi sampah mikroplastik (Gregory 1996).

Mikroplastik merupakan partikel plastik yang memiliki rentang ukuran 0,001 mm – 5 mm. Sumber mikroplastik terbagi menjadi dua, yaitu mikroplastik primer dan sekunder. Mikroplastik primer adalah butiran plastik yang diproduksi dalam ukuran kecil oleh industri plastik sedangkan mikroplastik sekunder merupakan mikroplastik yang dihasilkan akibat fragmentasi plastik yang ukurannya lebih besar (Permatasari dan Radityaningrum 2020). Mikroplastik yang terakumulasi di lingkungan bukan hanya berkontribusi sebagai sampah plastik tetapi juga dapat merusak ekosistem dan kesehatan manusia (Fachrul dan Rinanti 2018).

Salah satu proses untuk mendegradasi limbah mikroplastik adalah biodegradasi di mana bakteri menggunakan mikroplastik sebagai sumber karbon (makanan). Namun, mikroplastik memiliki sifat hidrofobik (tidak menyerap air) dan tidak mempunyai gugus fungsi aktif seperti gugus karbonil dan gugus hidroksil sehingga bakteri tidak dapat menempel pada permukaan mikroplastik. Untuk memaksimalkan berlangsungnya proses biodegradasi maka dilakukan modifikasi struktur kimia dari mikroplastik dengan cara menambah gugus fungsi ke dalam mikroplastik (Sepperumal dan Markandan 2014).

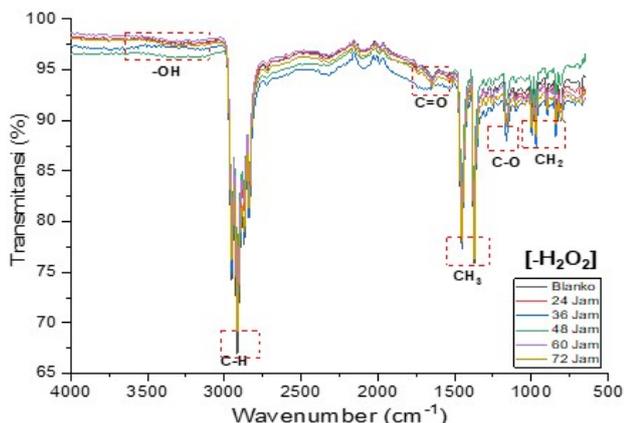
Fotodegradasi merupakan salah satu proses memodifikasi struktur kimia dari mikroplastik. Proses ini menginisiasi degradasi plastik di air yang selanjutnya mengakibatkan terjadinya oksidasi dari permukaan polimer untuk membentuk gugus karbonil dan hidroksil (Fachrul dan Rinanti 2018). Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan oleh Salikhov dkk. (2020) untuk mempelajari pengaruh dari proses fotodegradasi terhadap struktur dan karakteristik permukaan polipropilen (PP) dengan proses iradiasi UV dilakukan pada panjang

TABEL 1. Intensitas transmitansi gugus karbonil.

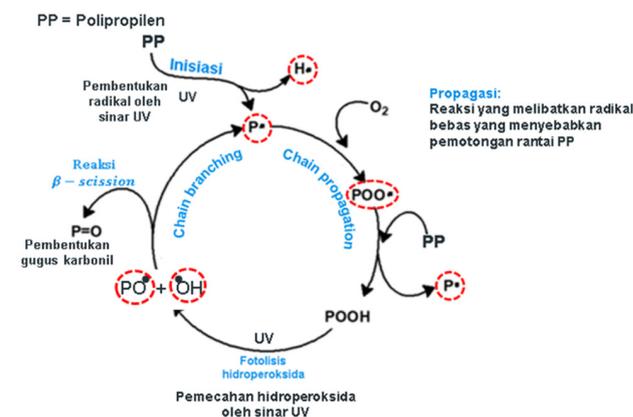
Waktu (Jam)	Transmitansi (%)	
	1647 cm ⁻¹ C=O	1655 cm ⁻¹ C=O
Blanko	93,831	94,379
24	93,770	94,037
36	93,631	93,085
48	94,132	94,380
60	93,383	94,092
72	93,143	93,647

gelombang 340 nm dan dilakukan selama 18 jam dan 36 jam. Dari penelitian tersebut diperoleh hasil iradiasi PP selama 18 jam menyebabkan penurunan rata-rata kekasaran kuadrat dan tinggi maksimum kekasaran 2-3 kali lebih besar dibanding tanpa adanya iradiasi UV dan mendapatkan hasil yang lebih baik ketika diiradiasi dengan waktu yang lebih lama (Salikhov dkk. 2020). namun, hasil tersebut belum maksimal karena proses penguraian PP memerlukan gugus karbonil dan hidroksil yang lebih banyak. Selain itu, penambahan hidrogen peroksida (H₂O₂) terbukti mampu mempercepat proses fotodegradasi karena H₂O₂ dapat memaksimalkan penyerapan sinar UV yang dapat menginisiasi proses pembentukan radikal hidroksil (OH) sehingga proses fotodegradasi dapat terjadi lebih cepat (Ao dan Liu 2017).

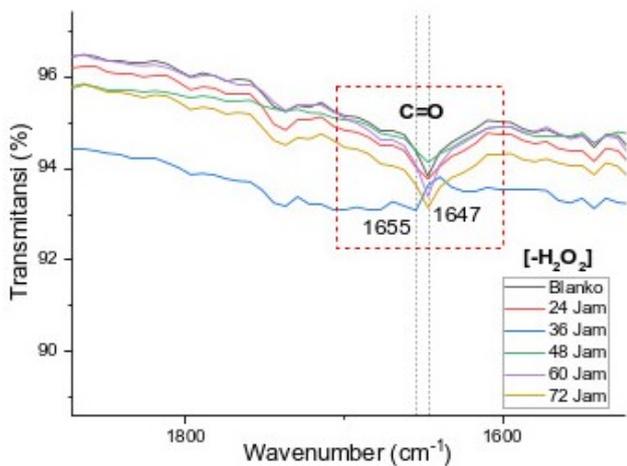
Penelitian ini difokuskan pada variasi kondisi sinar UV untuk mengetahui keefektifan metode sinar UV dalam memodifikasi karakteristik mikroplastik dan mengetahui pengaruh penambahan H₂O₂ terhadap karakteristik hasil fotodegradasi limbah DFM. Pengujian masker DFM pada penelitian ini meliputi analisis FTIR untuk mengetahui perubahan struktur molekul mikroplastik, penggunaan mikroskop untuk melihat perubahan morfologi pada permukaan mikroplastik, dan analisis gravimetri untuk mengetahui perubahan berat mikroplastik setelah mengalami degradasi. Manfaat penelitian ini untuk memodifikasi struktur kimia mikroplastik yang memiliki gugus hidroksil lebih banyak sehingga mempercepat proses degradasi oleh mikroba di lingkungan air.



GAMBAR 1. Hasil analisis FTIR mikroplastik DFM tanpa penambahan H₂O₂.



GAMBAR 2. Mekanisme fotodegradasi polipropilen (Singh dan Sharma 2008)



GAMBAR 3. Hasil analisis FTIR DFM tanpa penambahan H₂O₂ pada bilangan gelombang 1656-1647 cm⁻¹

2. METODE PENELITIAN

2.1 Bahan dan alat penelitian

Bahan-bahan dalam penelitian ini antara lain limbah DFM dengan merk Sensi, aquades, sabun cair dan hidrogen peroksida (H₂O₂). Untuk peralatan yang digunakan yaitu pipet tetes, gelas ukur 100 ml, oven, UV chamber, dan timbangan analitis.

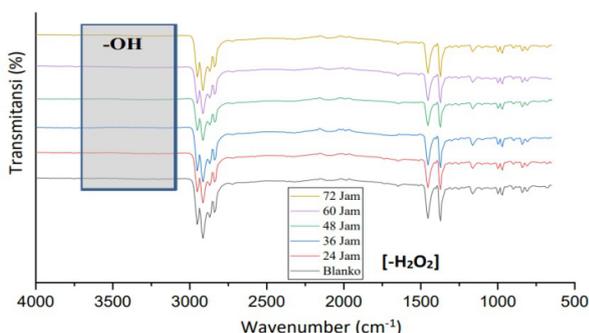
2.2 Cara penelitian

2.2.1 Persiapan limbah mikroplastik

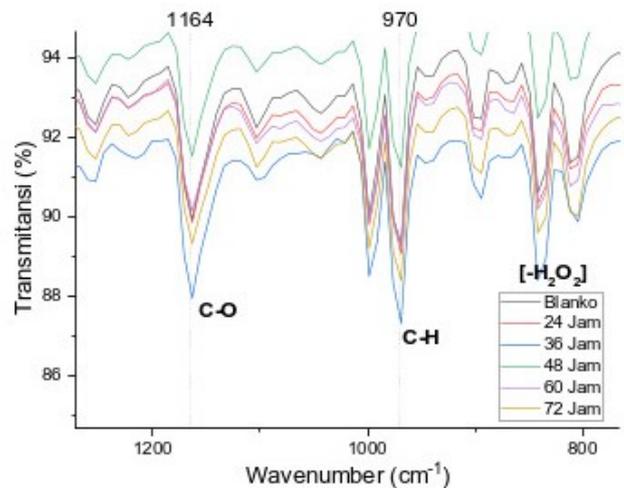
Limbah DFM dicuci dengan cara direndam dalam air sabun untuk menghilangkan kotoran yang menempel di masker, kemudian dikeringkan menggunakan oven pada temperatur 30°C (temperatur ruangan) dan selanjutnya dicacah menjadi mikroplastik dengan ukuran mendekati 5 mm. Lakukan uji karakteristik awal menggunakan FTIR, mikroskop dan neraca analitis.

2.2.2 Fotodegradasi limbah mikroplastik

Limbah masker yang tercacah menjadi mikroplastik ditimbang sebanyak 7 mg dan disuspensikan ke dalam air 100 mL. Air mengandung mikroplastik dengan konsentrasi 0,07 mg/ml. Limbah masker tercacah disiapkan dengan jumlah yang sama dan ditambahkan pula hidrogen peroksida dengan konsentrasi 1% v/v. Kedua sampel tersebut diiradiasi menggunakan sinar UV tipe C dengan panjang gelombang



GAMBAR 4. Hasil analisis FTIR sampel DFM tanpa penambahan H₂O₂ pada bilangan gelombang 3700-3100 cm⁻¹



GAMBAR 5. Hasil analisis FTIR sampel DFM tanpa penambahan H₂O₂ pada bilangan gelombang 1300-600 cm⁻¹

100-280 nm. Waktu iradiasi mikroplastik DFM dilakukan selama 24, 36, 48, 60, dan 72 jam. Setelah dilakukan iradiasi, keringkan sampel menggunakan oven selama 24 jam dengan temperatur 100 °C.

2.2.3 Analisis hasil fotodegradasi

Struktur molekul dari polimer PP dianalisis menggunakan *Fourier Transform Infrared* (FTIR) untuk mengetahui adanya perubahan gugus fungsi sampel mikroplastik melalui sebuah spektrum. Hasil spektrum infra merah yang diperoleh selanjutnya diplotkan sebagai bilangan gelombang (cm⁻¹). Analisis menggunakan FTIR Agilent Technologies yang dioperasikan pada range 4000–650 cm⁻¹ dengan resolusi 16 cm⁻¹ dan 32 pemindaian tambahan. Bilangan gelombang 1850–1550 cm⁻¹ untuk mengidentifikasi gugus karbonil dan bilangan gelombang 3700–3100 cm⁻¹ untuk mengidentifikasi yang berhubungan dengan pembentukan gugus hidroksil (Wu dkk., 2021). Pembentukan gugus karbonil secara signifikan yaitu saat nilai $\alpha > 2,5\%$, sebaliknya saat $\alpha < 2,5\%$ maka pembentukan gugus karbonil terjadi secara tidak signifikan.

Perubahan morfologi pada permukaan sampel dianalisis menggunakan Mikroskop Binokuler Olympus CX-23. Mikroskop menganalisis perubahan morfologi pada mikroplastik yang telah difotodegradasi. Sampel yang telah didegradasi akan dianalisis menggunakan bantuan mikroskop dengan perbesaran 12× dan 40× (Auta dkk. 2017).

Perubahan pengurangan massa sampel dianalisis meng-

TABEL 2. Intensitas transmittansi gugus karbonil.

Waktu (Jam)	Transmittansi (%)	
	970 cm ⁻¹ C-H	1164 cm ⁻¹ C-O
Blanko	89,302	89,945
24	89,088	89,872
36	87,329	87,969
48	91,258	91,541
60	89,279	90,167
72	88,405	89,338

TABEL 3. Intensitas transmitansi gugus karbonil.

Waktu (jam)	Transmitansi (%)	
	C=O	
Blanko	94,369	
24	94,293	
36	94,559	
48	95,941	
60	93,418	
72	94,024	

gunakan uji gravimetri. Uji gravimetri merupakan perhitungan secara kuantitatif didasarkan pada pengurangan massa plastik sebelum dan sesudah dipaparkan sinar UV yang kemudian ditimbang beratnya agar dapat diketahui besarnya persen kehilangan berat (Zhang dkk., 2021). Proses penimbangan sampel dilakukan dengan menggunakan neraca analitis. Perubahan berat yang hilang dari mikroplastik DPM yang diukur dengan uji gravimetri akan terjadi secara signifikan apabila nilai signifikansi yang ditetapkan yaitu $\alpha > 1\%$. Adapun tahapan analisis gravimetri dimulai dengan menimbang berat sampel sebelum fotodegradasi dan setelah fotodegradasi. Untuk persen pengurangan massa dari sampel setelah proses fotodegradasi dihitung dengan menggunakan Persamaan (1).

$$\% \text{pengurangan massa} = \frac{A - B}{A} \times 100\% \quad (1)$$

Keterangan :

1. A: Berat awal sampel mikroplastik sebelum fotodegradasi (g),
2. B: Berat akhir sampel mikroplastik setelah fotodegradasi (g)

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

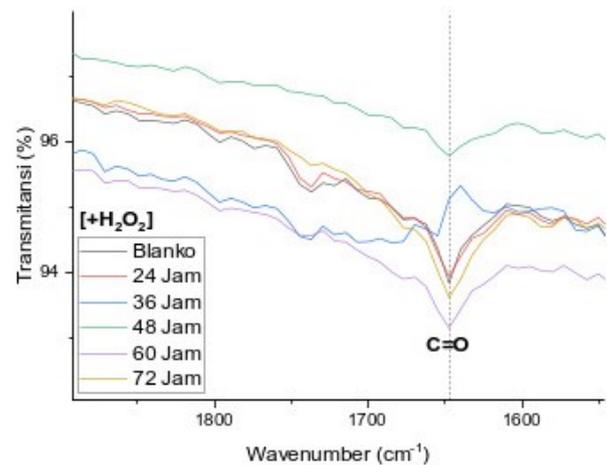
3.1 Pengaruh iradiasi UV mikroplastik tanpa H₂O₂

Hasil analisis FTIR setelah proses fotodegradasi pada mikroplastik DFM tanpa penambahan H₂O₂ ditampilkan pada Gambar 1.

Berdasarkan Gambar 1 diperoleh beberapa *peak* transmitansi yang mengindikasikan terjadi pembentukan atau perubahan gugus fungsi pada DFM. Munculnya *peak* gugus fungsional karbonil dan hidroksil mengindikasikan bahwa iradiasi sinar UV berpengaruh terhadap struktur kimia DFM se-

TABEL 4. Intensitas transmitansi gugus karbonil.

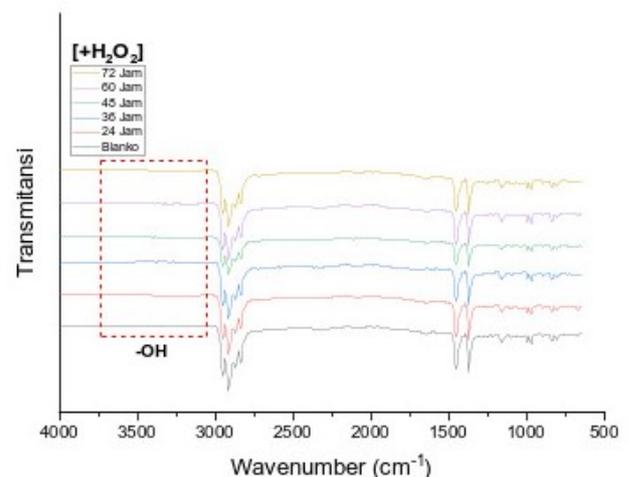
Waktu (Jam)	Transmitansi (%)	
	3100 cm ⁻¹	3700 cm ⁻¹
	C-H	C-O
Blanko	89,302	89,945
24	89,088	89,872
36	87,329	87,969
48	91,258	91,541
60	89,279	90,167
72	88,405	89,338



GAMBAR 6. Hasil analisis FTIR DFM dengan penambahan H₂O₂ pada bilangan gelombang 1650 cm⁻¹

hingga hidrofobisitas menurun. Kedua gugus fungsional tersebut dapat diamati pada bilangan gelombang 1850–1550 cm⁻¹ untuk gugus karbonil dan 3600–3250 cm⁻¹ untuk gugus hidroksil. Proses pembentukan gugus karbonil dan hidroksil dapat dilihat melalui mekanisme fotodegradasi polipropilen (Gambar 2).

Berdasarkan Gambar 2, ditampilkan proses fotodegradasi yang diawali dengan tahap propagasi. Tahap propagasi diinisiasi dengan pembentukan polipropilen radikal (PP) oleh sinar UV dengan melepas hidrogen. Selanjutnya PP radikal yang tidak stabil bereaksi dengan oksigen untuk membentuk peroksi radikal. Peroksi radikal akan bereaksi kembali dengan hidrogen membentuk PP peroksida dengan cara mengabstraksi rantai PP di sekitarnya. Dengan bantuan sinar UV, PP peroksida terfotolisis menjadi oksi radikal (PO⁻) dan hidroksil (-OH). Selanjutnya pada tahap *chain branching*, PP oksi radikal (PO⁻) yang terbentuk memasuki reaksi β -scission untuk pembentukan gugus karbonil (C=O). Sedangkan untuk hidroksil (-OH) akan dalam mengabstraksi rantai PP lainnya sehingga terjadi pemutusan ikatan rantai PP dengan bereaksi dengan hidrogen membentuk air (Singh dan Sharma 2008).



GAMBAR 7. Hasil analisis FTIR sampel mikroplastik DFM dengan penambahan H₂O₂ pada bilangan gelombang 3700-3100 cm⁻¹

TABEL 5. Intensitas transmitansi gugus karbonil.

Waktu (Jam)	Transmitansi (%)
	C-H
Blanko	94,351
24	91,714
36	93,189
48	94,271
60	91,703
72	91,723

Intensitas transmitansi gugus fungsi karbonil yang diamati pada bilangan gelombang 1655-1647 cm^{-1} dapat dilihat pada Gambar 3.

Berdasarkan Gambar 3, intensitas transmitansi yang diamati pada bilangan gelombang 1655-1647 cm^{-1} dengan berbagai kondisi waktu iradiasi di mana diidentifikasi sebagai pembentukan gugus karbonil C=O (keton, ester, dan lakton). Gugus karbonil tersebut terbentuk pada tahap *chain branching* di mana polimer oksidasi radikal mengalami reaksi β -scission yang menghasilkan pemotongan ikatan karbon bersamaan dengan terbentuknya gugus karbonil dan polimer alkil radikal. Berdasarkan Gambar 3, muncul *peak* pada bilangan gelombang 1647 cm^{-1} yang diidentifikasi sebagai pembentukan vinil dengan intensitas yang berbeda-beda. Hasil ini sama dengan hasil yang diperoleh oleh Zhang dkk. (2021) pada bilangan gelombang 1655-1647 cm^{-1} terbentuk *peak* yang berkorelasi dengan pembentukan gugus karbonil (vinil, asam karboksilat, ester dan γ -lakton). Intensitas transmitansi gugus karbonil yang terbentuk dari *peak* yang muncul ditabulasikan ke dalam bentuk Tabel 1.

Berdasarkan Tabel 1, persentase transmitansi mengalami penurunan seiring bertambahnya waktu iradiasi di mana ini mengindikasikan terjadi peningkatan gugus karbonil (C=O) dalam pembentukan keton. Persentase transmitansi berbanding terbalik dengan jumlah gugus fungsi yang terbentuk, sehingga pembentukan gugus karbonil terbanyak terjadi pada sampel yang difotodegradasi selama 72 jam yaitu 93,143 %. Namun, iradiasi dengan waktu 36 jam memiliki intensitas transmitansi yang lebih kecil dari iradiasi selama 72 jam yaitu 93,085 % namun pada bilangan gelombang yang berbeda yaitu 1655 cm^{-1} . Hasil ini dapat terjadi karena karena jarak antara lampu UV dengan sampel yang tidak sama sehingga mempengaruhi intensitas radiasi UV yang diterima oleh sampel pada proses fotodegradasi. Perbedaan hasil ini juga dipengaruhi oleh konsentrasi oksigen yang kecil karena tidak terdapat sirkulasi udara. Berdasarkan penelitian yang dilakukan oleh Cai dkk. (2018), di mana dilakukan perbandingan degradasi plastik di tiga lingkungan yang berbeda, yaitu lingkungan udara, air murni dan air laut, diperoleh bahwa degradasi plastik di lingkungan udara lebih tinggi secara signifikan dibandingkan kedua lingkungan lainnya. Hal ini berhubungan dengan tingkat paparan oksigen di lingkungan udara lebih tinggi dari tingkat paparan oksigen di lingkungan larutan (air murni dan air laut) (Cai dkk. 2018).

Selain gugus karbonil, penurunan hidrofobitas dari sampel mikroplastik DFM juga dapat diidentifikasi dengan munculnya gugus hidroksil (alkohol dan hidropoksida) pada bilangan gelombang 3700-310 cm^{-1} seperti ditampilkan pada

Gambar 4. Pada bilangan gelombang 3700-3100 cm^{-1} tidak menunjukkan perubahan yang signifikan (tidak terdapat *peak*) pada setiap sampelnya. Hal tersebut menjelaskan bahwa jumlah gugus hidroksil yang terbentuk pada setiap sampelnya yang difotodegradasi tidak jauh berbeda. Pada proses ini tidak terjadi pembentukan gugus karbonil yang signifikan.

Selain pembentukan gugus hidroksil dan gugus karbonil, keberhasilan proses fotodegradasi juga ditandai dengan perubahan struktur kimia senyawa yang merupakan penyusun material DFM seperti yang ditunjukkan pada Gambar 5.

Terdapat banyak *peak* pada Gambar 5 yang menunjukkan terjadinya *stretching* ikatan C-H dari CH_2 pada *peak* 970 cm^{-1} . Untuk *peak* pada 1164 cm^{-1} terjadi *stretching* ikatan C-O dari proses pembentukan senyawa oksidasi radikal. Persentase transmitansi dari *peak* di atas ditabulasikan ke dalam bentuk Tabel 2.

Berdasarkan Tabel 2 diperoleh nilai persentase transmitansi yang fluktuatif terhadap lamanya waktu iradiasi. Berdasarkan hasil tersebut untuk persentase transmitansi terkecil terjadi pada waktu 36 jam yang mengindikasikan perubahan struktur kimia yaitu *stretching* ikatan C-H dari CH_2 dan *stretching* ikatan C-O paling besar pada waktu 36 jam. Rajakumar dkk. (2009) melakukan analisis perubahan karbonil pada panjang gelombang 974 cm^{-1} untuk melihat pengaruh cuaca pada degradasi polipropilen dengan FTIR.

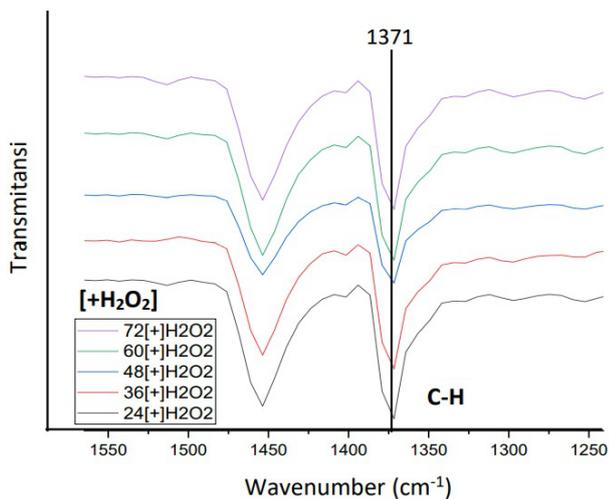
3.2 Pengaruh kombinasi iradiasi UV dan H_2O_2

Pada dasarnya *pretreatment* fotodegradasi pada DFM dilakukan untuk memodifikasi sifat-sifat polimer dan merubah sifat material dari segi mekanikal, optikal, fisikal, hingga kimiawi sehingga tingkat hidrofobitas pada DFM berkurang dan dapat membantu DFM untuk lebih mudah terdegradasi oleh mikroorganisme yang ada di lingkungan sekitar. Penambahan H_2O_2 pada fotodegradasi DFM diharapkan dapat mempercepat proses fotodegradasi DFM dan mengoptimalkan hasil fotodegradasi DFM.

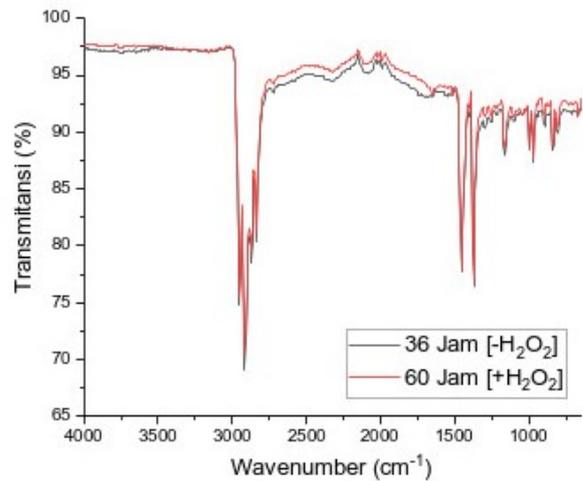
Munculnya *peak* gugus fungsional karbonil dan hidroksil mengindikasikan bahwa iradiasi sinar UV dengan kombinasi H_2O_2 berpengaruh terhadap struktur kimia DFM sehingga hidrofobitas DFM menurun. Kedua gugus fungsional tersebut dapat diamati pada bilangan gelombang 1850-1550 cm^{-1} (karbonil) dan 3700-3100 cm^{-1} (hidroksil). Intensitas transmitansi gugus fungsi karbonil yang diamati pada bilangan gelombang 1650-1550 cm^{-1} dapat dilihat pada Gambar 6.

Bilangan gelombang 1650 cm^{-1} diidentifikasi sebagai pembentukan gugus karbonil (keton, ester, dan lakton). Gugus karbonil terbentuk pada tahap di mana polimer oksidasi radikal mengalami reaksi β -scission yang menghasilkan pemotongan ikatan karbon bersamaan dengan terbentuknya gugus karbonil dan polimer alkil radikal. Dapat dilihat pada Gambar 6, terbentuk *peak* pada bilangan gelombang 1654 cm^{-1} diidentifikasi sebagai pembentukan karbonil dengan intensitas yang berbeda. Hasil ini sama sejalan dengan hasil yang diperoleh oleh Zhang dkk. (2021) yang memperoleh pada bilangan gelombang 1850-1550 cm^{-1} terbentuk *peak* yang berkorelasi dengan pembentukan gugus karbonil (vinil, asam karboksilat, ester dan γ -lakton). Intensitas transmitansi dari *peak* yang muncul pada bilangan gelombang 1654 cm^{-1} ditabulasikan ke dalam bentuk Tabel 3.

Berdasarkan Tabel 3 persentase transmitansi yang dipe-



GAMBAR 8. Hasil analisis FTIR DFM dengan penambahan H₂O₂ pada bilangan gelombang 1450-1371 cm⁻¹



GAMBAR 9. Perbandingan hasil analisis FTIR sampel mikroplastik DFM tanpa penambahan H₂O₂ 36 jam dan dengan penambahan H₂O₂ 60 jam

roleh dari kombinasi sinar UV dan H₂O₂ adalah fluktuatif. Hasil ini mengindikasikan bahwa penambahan H₂O₂ tidak berpengaruh secara signifikan untuk mempercepat proses fotodegradasi. Untuk persentase transmittansi berbanding terbalik dengan jumlah gugus fungsi yang terbentuk, sehingga pembentukan gugus karbonil terbanyak terjadi pada sampel yang difotodegradasi selama 60 jam yaitu 93,418%.

Selain gugus karbonil, penurunan hidrofobitas dari sampel DFM dapat diidentifikasi dengan munculnya gugus hidroksil (alkohol dan hidroperoksida) pada bilangan gelombang 3700-3100 cm⁻¹ seperti yang ditampilkan pada Gambar 7.

Berdasarkan Gambar 7 pada bilangan gelombang 3700-3100 cm⁻¹ tidak menunjukkan perubahan yang signifikan (tidak terdapat *peak*) pada setiap sampel mikroplastiknya. Hal tersebut menandakan bahwa jumlah gugus hidroksil yang terbentuk pada setiap sampel yang difotodegradasi tidak ada perubahan. Hasil ini mengindikasikan bahwa penambahan H₂O₂ tidak berpengaruh signifikan terhadap proses fotodegradasi.

Selain pembentukan gugus hidroksil dan gugus karbonil, keberhasilan proses fotodegradasi juga ditandai dengan perubahan struktur kimia yaitu *stretching* ikatan C-H (grup metil) yang merupakan penyusun mikroplastik DFM. Terbentuk *peak* pada 1375 cm⁻¹ yang menunjukkan pengurangan intensitas transmittansi gugus metil (CH₃) pada DFM (Saviello dkk. 2018) seperti yang ditunjukkan pada Gambar 8.

Terjadi *stretching* pada ikatan C-H dari CH₃ pada senyawa penyusun PP yang ditandai dengan *peak* pada bilangan gelombang 1371 cm⁻¹. Intensitas transmittansi pada bilangan

gelombang 1371 cm⁻¹ dapat dilihat pada Tabel 5.

Berdasarkan Tabel 5 didapatkan persentase transmittansi terkecil pada waktu 60 jam, hal tersebut menunjukkan terjadi struktur kimia terbesar yaitu *stretching* ikatan C-H (grup metil) yang merupakan penyusun mikroplastik DFM pada sampel yang diiradiasi sinar UV selama 60 jam.

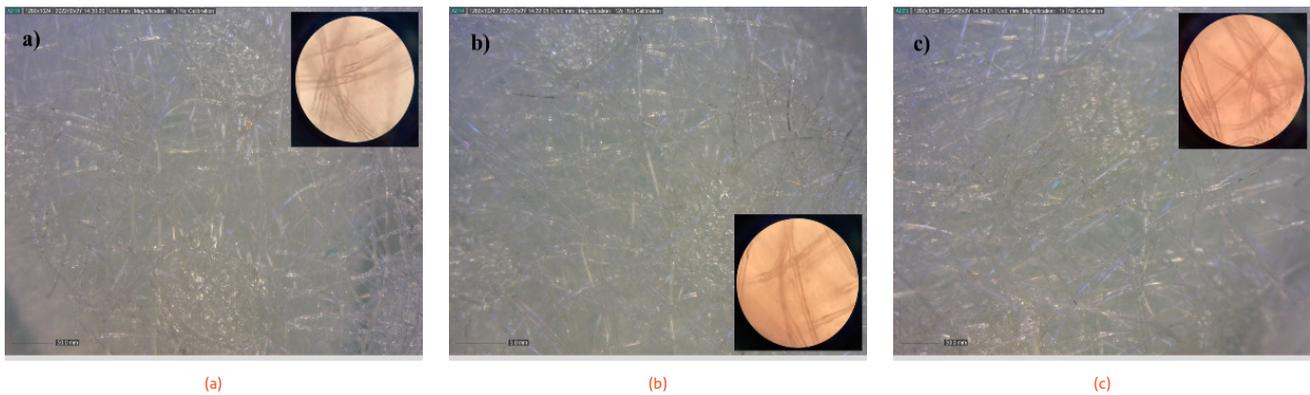
Berdasarkan hasil analisis FTIR diperoleh pembentukan gugus karbonil dan *stretching* ikatan C-H terbanyak terjadi pada waktu fotodegradasi selama 60 jam. Hasil ini tidak sesuai dengan hipotesis yaitu dengan dilakukan penambahan H₂O₂ maka laju fotodegradasi meningkat berbanding lurus dengan lamanya iradiasi UV. Hal ini dapat terjadi karena proses iradiasi dilakukan pada ruang tertutup yang menyebabkan mekanisme fotodegradasi tidak maksimal. Berdasarkan penelitian yang dilakukan oleh Cai dkk. (2018) dengan membandingkan degradasi plastik di tiga lingkungan yang berbeda yaitu lingkungan udara, air murni dan air laut diperoleh hasil degradasi plastik di lingkungan udara secara signifikan lebih tinggi dari lingkungan air murni dan air laut. Hal ini berhubungan dengan tingkat paparan oksigen di lingkungan udara lebih tinggi dari tingkat paparan oksigen di lingkungan larutan (air murni dan air laut) (Cai dkk. 2018). Selain itu, hasil yang didapat terjadi karena karena jarak antara lampu UV dengan sampel yang tidak sama sehingga mempengaruhi intensitas radiasi UV yang diterima oleh sampel pada proses fotodegradasi.

Untuk membandingkan hasil FTIR terbaik antara sampel mikroplastik DFM tanpa dan dengan H₂O₂ dilakukan yaitu perbandingan hasil analisis FTIR yang terbaik dari sampel yang diiradiasi tanpa penambahan H₂O₂ yaitu selama 36 jam dengan sampel yang diiradiasi dengan penambahan H₂O₂ yaitu selama 60 jam yang disajikan pada Gambar 9.

Gambar 9 menunjukkan perbandingan hasil FTIR untuk sampel mikroplastik DFM yang dilakukan fotodegradasi tanpa H₂O₂ selama 36 jam dan hasil fotodegradasi yang dikombinasikan dengan H₂O₂. Gambar tersebut menunjukkan bahwa tidak terjadi perbedaan yang signifikan antara hasil 36 jam dan 60 jam. Dari percobaan ini dapat disimpulkan bahwa penambahan H₂O₂ dengan konsentrasi 1% v/v pada fotodegradasi mikroplastik DFM tidak terlalu berpengaruh bahkan memiliki tendensi sebagai inhibitor yang memperlambat

TABEL 6. Intensitas transmittansi gugus karbonil.

Waktu Iradiasi (jam)	% Pengurangan Massa	
	[-H ₂ O ₂]	[+H ₂ O ₂]
24	0.00%	0.00%
36	0.14%	0.00%
48	0.29%	0.00%
60	0.29%	0.14%
72	0.43%	0.14%



GAMBAR 10. Perbandingan hasil analisis mikroskop (a) blanko, (b) 36 jam $[-H_2O_2]$ dan (c) 60 jam $[+H_2O_2]$

proses fotodegradasi mikroplastik DFM. Hal ini tidak sejalan dengan hasil penelitian sebelumnya di mana penambahan *Reactive Oxygen Species* (ROS) seperti H_2O_2 , O_2 , dan $\cdot OH$ berperan penting pada proses fotodegradasi mikroplastik di bawah sinar UV yang dapat mengoptimalkan proses fotodegradasi (Zhu dkk. 2020a). Hal ini dapat terjadi karena konsentrasi H_2O_2 yang digunakan pada penelitian ini berbeda dengan konsentrasi H_2O_2 yang digunakan pada penelitian sebelumnya yaitu 30% wt. Selain itu, waktu fotodegradasi yang dilakukan selama 72 jam di mana waktu yang lebih lama karena intensitas penyinaran sinar UV yang singkat (Du dkk. 2021).

3.3 Hasil analisis morfologi

Analisis mikroskopis digunakan untuk melihat perubahan morfologi permukaan sampel mikroplastik DFM. Uji ini dilakukan menggunakan Mikroskop Binokuler Olympus CX23 dengan perbesaran $40\times$ dan Mikroskop Dinolite dengan perbesaran $12\times$. Hasil pengamatan dapat dilihat pada Gambar 10.

Gambar 10a merupakan gambar morfologi sampel mikroplastik DFM tanpa dikenai perlakuan apapun (blanko). Berdasarkan morfologi permukaan sampel dapat dilihat bahwa pada permukaan sampel yang berbentuk filamen belum terbentuk bitnik-bintik hitam pada permukaan sampel mikroplastik DFM (perbesaran $12\times$). Sedangkan morfologi permukaan sampel yang diiradiasi selama 36 jam tanpa penambahan H_2O_2 (Gambar 10b) telah mengalami perubahan morfologi yang ditandai dengan munculnya bitnik-bintik hitam pada sampel. Bintik-bintik hitam ini juga terdapat pada permukaan sampel mikroplastik DFM yang diiradiasi selama 60 jam dengan penambahan H_2O_2 (Gambar 10c). Bintik-bintik hitam pada permukaan sampel mengindikasikan telah terjadi perobekan, kavitasi dan pembentukan *hole* yang merupakan tanda terjadinya degradasi atau kerusakan pada permukaan mikroplastik DFM oleh radiasi UV (Tang dkk. 2005). namun, berdasarkan jumlahnya, bintik hitam yang terbentuk pada sampel yang diiradiasi selama 36 tanpa H_2O_2 lebih banyak daripada sampel yang diiradiasi selama 60 jam dengan penambahan H_2O_2 .

Selain itu, dengan perbesaran $40\times$ dapat dilihat kerapatan dari setiap sampel. Terlihat bahwa kerapatan filamen sampel blanko (Gambar 10a) lebih besar dari pada sampel yang telah diiradiasi sinar UV. namun, untuk kerapatan filamen sampel yang diiradiasi selama 36 jam tanpa H_2O_2 (Gambar 10b) lebih kecil daripada sampel yang diiradiasi selama

60 jam dengan penambahan H_2O_2 (Gambar 10c). Sehingga berdasarkan hasil analisis perubahan morfologi permukaan sampel diperoleh bahwa hasil fotodegradasi dengan iradiasi UV selama 36 jam tanpa penambahan H_2O_2 memiliki hasil yang lebih baik dari fotodegradasi iradiasi UV selama 60 jam dengan kombinasi penambahan H_2O_2 .

3.4 Hasil analisis gravimetri

Analisis gravimetri dilakukan untuk menentukan persentase berat yang hilang dari sampel mikroplastik DFM. Uji ini dilakukan dengan mengukur berat awal sampel sebelum iradiasi dan berat akhir sampel setelah proses iradiasi dengan variasi yang ditetapkan. Hasil persentase pengurangan massa setelah degradasi sampel mikroplastik DFM tanpa dan dengan penambahan H_2O_2 ditampilkan pada Tabel 6.

Berdasarkan hasil penimbangan sampel mikroplastik DFM sebelum dan sesudah proses fotodegradasi, diperoleh bahwa tidak terjadi perubahan secara signifikan ($\alpha < 1\%$). Penimbangan dilakukan untuk mengetahui perubahan pada sampel mikroplastik DFM yang tidak dapat terlihat secara fisik. Dari Tabel 5 dapat dilihat bahwa perubahan atau penurunan berat mulai terjadi pada waktu iradiasi selama 36 jam namun persentase pengurangan massanya sangat kecil hanya sebesar 0,14% tanpa penambahan H_2O_2 dan nilai persen hilang yang sama mulai terjadi pada waktu iradiasi selama 60 jam dengan penambahan H_2O_2 . Persentase berat yang hilang dari sampel setelah proses fotodegradasi sebesar 0,43% tanpa penambahan H_2O_2 dan 0,29% dengan penambahan H_2O_2 dengan waktu iradiasi selama 72 jam. Hasil yang serupa juga terjadi pada penelitian yang dilakukan oleh Manangan dkk. (2010) diperoleh persen pengurangan massa yang diperoleh sangat kecil yaitu 0,6% dengan waktu iradiasi selama 96 jam (Manangan dkk. 2010). Sedangkan persentase berat yang hilang berdasarkan uji gravimetri mencapai 3,45% dilakukan oleh Zhu dkk. (2020b) dengan melakukan iradiasi UV selama 54 hari (Zhu dkk. 2020b). Maka perlu dilakukan proses iradiasi yang lebih lama agar uji gravimetri dapat dijadikan salah satu parameter keberhasilan proses fotodegradasi.

4. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil penelitian yang telah dilakukan maka diperoleh kesimpulan bahwa hasil terbaik fotodegradasi sampel mikroplastik DFM tanpa penambahan H_2O_2 terjadi pada waktu 36 jam dan hasil terbaik fotodegradasi dengan kombinasi penambahan H_2O_2 terjadi pada waktu 60 jam. Hal

ini berdasarkan penurunan persen transmisi terbesar gugus karbonil (C=O) yang dianalisis menggunakan FTIR sehingga terjadi penurunan hidrofobisitas pada DFM walaupun tidak signifikan ($\alpha < 2,5\%$).

Penambahan H₂O₂ 1% v/v tidak memberikan pengaruh signifikan terhadap perubahan karakteristik sampel yang difotodegradasi dan dibuktikan dengan hasil analisis FTIR ($\alpha < 2,5\%$), Perubahan struktur permukaan sampel DFM terjadi tidak terlalu signifikan dan berat yang hilang dari sampel setelah proses fotodegradasi sebesar 0,43% tanpa penambahan H₂O₂ dan 0,29% dengan penambahan H₂O₂ dengan waktu iradiasi selama 72 jam ($\alpha < 1\%$).

5. UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih kepada Laboratorium iLaB (Integrated Laboratory of Bioproducts) BRIN di Cibinong yang sudah melakukan analisis sampel dengan FTIR dan Institut Teknologi Sumatera.

DAFTAR PUSTAKA

- Ao X, Liu W. 2017. Degradation of sulfamethoxazole by medium pressure UV and oxidants: Peroxymonosulfate, persulfate, and hydrogen peroxide. *Chemical Engineering Journal*. 313(October):629–637. doi:10.1016/j.cej.2016.12.089.
- Auta HS, Emenike CU, Fauziah SH. 2017. Screening of Bacillus strains isolated from mangrove ecosystems in Peninsular Malaysia for microplastic degradation. *Environmental Pollution*. 231:1552–1559. doi:10.1016/j.envpol.2017.09.043.
- Cai L, Wang J, Peng J, Wu Z, Tan X. 2018. Observation of the degradation of three types of plastic pellets exposed to UV irradiation in three different environments. *Science of the Total Environment*. 628–629:740–747. doi:10.1016/j.scitotenv.2018.02.079.
- Du H, Xie Y, Wang J. 2021. Microplastic degradation methods and corresponding degradation mechanism: Research status and future perspectives. *Journal of Hazardous Materials*. 418(June):126377. doi:10.1016/j.jhazmat.2021.126377.
- Fachrul MF, Rinanti A. 2018. Bioremediasi pencemar mikroplastik di ekosistem perairan menggunakan bakteri indigenous (bioremediation of microplastic pollutant in aquatic ecosystem by indigenous bacteria). *Seminar Nasional Kota Berkelanjutan*. 1(1):302. doi:10.25105/psnkb.v1i1.2910.
- Gregory MR. 1996. Plastic scrubbers' in hand cleansers: A further (and minor) source for marine pollution identified. *Marine Pollution Bulletin*. 32(12):867–871. doi:10.1016/S0025-326X(96)00047-1.
- Manangan T, Shawaphun S, Wacharawichanant S. 2010. Acetophenone and benzophenone derivatives as catalysts in photodegradation of PE and PP films. *Advanced Materials Research*. 93–94:284–287. doi:10.4028/www.scientific.net/AMR.93-94.284.
- Permatasari DR, Radityaningrum AD. 2020. Kajian Keberadaan Mikroplastik Di Wilayah Perairan : Review. *Seminar Nasional Sains dan Teknologi Terapan VIII*:499–506. <http://ejournal.itats.ac.id/sntekpan/article/view/1279>.
- Rajakumar K, Sarasvathy V, Thamarai Chelvan A, Chitra R, Vijayakumar CT. 2009. Natural Weathering Studies of Polypropylene. *Journal of Polymers and the Environment*. 17(3):191–202. doi:10.1007/s10924-009-0138-7.
- Salikhov RB, Bazunova MV, Salikhov TR, Bazunova AA, Zakharov VP. 2020. Study of the effect of photooxidative processes on the surface morphology and physico-mechanical characteristics of biodegradable materials based on secondary polypropylene and chalk additives. *Letters on Materials*. 10(3):288–293. doi:10.22226/2410-3535-2020-3-288-293.
- Saviello D, Andena L, Gastaldi D, Toniolo L, Goidanich S. 2018. Multi-analytical approach for the morphological, molecular, and mechanical characterization after photooxidation of polymers used in artworks. *Journal of Applied Polymer Science*. 135(17):1–32. doi:10.1002/app.46194.
- Sepperumal U, Markandan M. 2014. Growth of Actinomyces and Pseudomonas sp., biofilms on abiotically pretreated polypropylene surface. 3(2):6–17. <https://www.scholarsresearchlibrary.com/articles/growth-of-actinomyces-and-pseudomonas-sp-biofilms-on-abiotically-pretreated-polypropylene-surface.pdf>.
- Singh B, Sharma N. 2008. Mechanistic implications of plastic degradation. *Polymer Degradation and Stability*. 93(3):561–584. doi:10.1016/j.polymdegradstab.2007.11.008.
- Tang L, Wu Q, Qu B. 2005. The effects of chemical structure and synthesis method on photodegradation of polypropylene. *Journal of Applied Polymer Science*. 95(2):270–279. doi:10.1002/app.21272.
- Zhang K, Hamidian AH, Tubić A, Zhang Y, Fang JK, Wu C, Lam PK. 2021. Understanding plastic degradation and microplastic formation in the environment: A review. *Environmental Pollution*. 274. doi:10.1016/j.envpol.2021.116554.
- Zhu K, Jia H, Sun Y, Dai Y, Zhang C, Guo X, Wang T, Zhu L. 2020a. Long-term phototransformation of microplastics under simulated sunlight irradiation in aquatic environments: Roles of reactive oxygen species. *Water Research*. 173:115564. doi:10.1016/j.watres.2020.115564.
- Zhu L, Zhao S, Bittar TB, Stubbins A, Li D. 2020b. Photochemical dissolution of buoyant microplastics to dissolved organic carbon: Rates and microbial impacts. *Journal of Hazardous Materials*. 383(July 2019):121065. doi:10.1016/j.jhazmat.2019.121065.