

PEMODELAN DEGRADASI MIKROPLASTIK POLISTIRENA DENGAN NANOFOTOKATALIS TiO_2

DAVID^{1*}, SITI KARMILA¹, NANA SURYANA¹, FERRY FAIZAL^{1,2}

¹ *Departemen Fisika, FMIPA, Universitas Padjadjaran
Jl. Raya Bandung-Sumedang Km.21 Jatinangor 45363, Sumedang, Jawa Barat*

² *Pusat Unggulan IPTEK Perguruan Tinggi (PUI-PT) Nanopowder Fungsional
Universitas Padjadjaran*

**email : david18001@mail.unpad.ac.id*

Abstrak. Mikroplastik polistirena telah menjadi polutan yang mengancam keberlangsungan lingkungan karena sulit terurai secara alami, penyebab kematian pada biota laut dan potensi penyakit pada tubuh manusia sehingga perlu diinvestigasi metode untuk penanganan polutan ini. Berbagai studi menyatakan bahwa fotokatalis merupakan metode yang mudah, murah dan efisien energi untuk degradasi polimer. Bahan yang sering digunakan dalam degradasi polutan adalah Titanium dioksida (TiO_2) karena memiliki efisiensi fotokatalitik yang tinggi, proses pembuatan yang mudah dan tidak beracun. Penyusunan artikel dilakukan melalui pemodelan reaksi degradasi polistirena menggunakan prinsip kinetika reaksi. Simulasi hasil pemodelan menunjukkan bahwa degradasi fotokatalitik polistirena dengan TiO_2 berjalan lima kali lebih cepat dibandingkan proses degradasi alami.

Kata kunci: mikroplastik, polistirena, degradasi fotokatalitik, pemodelan

Abstract. Polystyrene microplastics have become pollutants that threaten the sustainability of the environment because they are hard to decompose by nature, the cause of death of the marine animal and give disease potential to the human, so it is crucial to investigate the method for managing the pollutant. Various studies have shown that photocatalysis is a viable, inexpensive, and energy-efficient method for polymer degradation. The common material used in pollutant degradation is titanium dioxide (TiO_2) because it has high photocatalytic efficiency, an easy manufacturing process, and non-toxic. This paper is arranged based on modeling the degradation reaction of polystyrene using the principle of reaction kinetics. The simulation results showed that the photocatalytic degradation of polystyrene using TiO_2 is five times faster than the natural degradation.

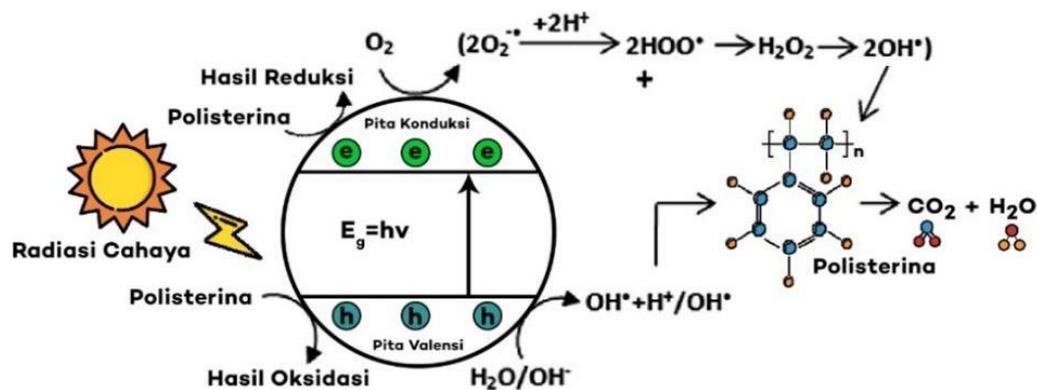
Keywords: polystyrene, microplastic, photocatalytic degradation

1. Pendahuluan

Plastik merupakan salah satu material yang banyak digunakan dalam kehidupan sehari-hari, karena memiliki sifat kuat, ringan, transparan, tahan air dan tahan lama. Kepopuleran plastik menyebabkan produksinya selalu meningkat setiap tahunnya. Namun karena sulit terurai, semakin banyak limbah plastik akhirnya mencemari lingkungan, dimana sekitar 4900 juta ton atau 60% dari semua plastik yang pernah diproduksi dibuang ke lingkungan (Geyer, 2017). Plastik-plastik di alam akhirnya terdekomposisi karena sinar matahari melemahkan ikatan kimianya sehingga mengalami fragmentasi menjadi partikel yang berukuran milimeter dan mikrometer yang disebut dengan mikroplastik. Partikel plastik tersebut terkumpul di lautan dan

diperkirakan 5.25 triliun mikro dan nano plastik mencemari permukaan laut dunia. Karena tersebar di alam, mikroplastik menjadi faktor penyebab kematian pada biota laut karena merusak pencernaannya dan juga akhirnya masuk ke dalam rantai makanan manusia melalui produk laut seperti ikan dan garam menyebabkan potensi penyakit pada tubuh manusia. Stirena yang terakumulasi dalam tubuh juga dapat mempengaruhi sistem saraf pusat seperti sakit kepala, kelelahan, dan depresi, serta gangguan kinerja enzim pada ginjal (Rodrigues, 2019). Polistirena merupakan salah satu polimer plastik yang paling banyak digunakan di dunia dan sering sekali ditemukan di laut dalam bentuk mikroplastik (Jangsun, 2020). Polistirena (PS) adalah polimer hidrofobik sintesis dengan berat molekul tinggi yang termasuk dalam jenis thermoplastic. PS dapat didaur ulang tetapi susah untuk dilakukan biodegradasi (Azizah et al., 2018), memerlukan waktu minimal 500 tahun untuk terdegradasi secara alami (Shao, 2013). Waktu degradasi polistirena yang lama serta dampak buruk mikroplastik bagi lingkungan mendorong perlunya dilakukan investigasi berbagai metode degradasi mikroplastik yang lebih cepat dibandingkan degradasi alami, salah satunya dengan memanfaatkan fotokatalis.

Degradasi fotokatalitik merupakan proses penguraian materi yang dipercepat menggunakan katalis dan bantuan cahaya. Metode ini memiliki keunggulan karena teknik yang lebih sederhana, reaksi oksidasi yang lebih cepat, efisiensi yang tinggi dan produknya adalah senyawa yang ramah lingkungan. Degradasi fotokatalik pada polimer merupakan suatu reaksi oksidasi lanjutan pada rantai polimer yang terdiri atas beberapa tahap (inisiasi, propagasi, pemutusan rantai dan terminasi) seperti terlihat pada Gambar 1.



Gambar 1. Mekanisme Degradasi Polistirena dengan Fotokatalis

Bahan fotokatalis yang banyak menjadi fokus riset para peneliti dunia adalah Titanium Dioksida (TiO₂). TiO₂ adalah semikonduktor unggul yang memiliki kestabilan kimia dan termal, tidak beracun, biaya produksi yang rendah serta ramah lingkungan (Gnanasekaran, Hemamalini dan Ravichandran, 2015) sehingga banyak digunakan sebagai fotokatalis. Performa fotokatalis akan meningkat ketika ukuran partikelnya semakin kecil, oleh karena itu katalis berskala nano memiliki efektivitas yang lebih tinggi. Pada paper ini akan dibahas mengenai potensi dari TiO₂ sebagai nanofotokatalis untuk mempercepat proses degradasi mikroplastik polistirena, disertai dengan hasil simulasi degradasi mikroplastik polistirena menggunakan fotokatalis TiO₂.

2. Metode Penelitian

Evaluasi kinerja TiO_2 untuk proses degradasi polistirena dilakukan dengan mengestimasi laju degradasinya menggunakan metode pemodelan inversi, seperti terlihat pada Gambar 2. Data yang digunakan dalam pemodelan ini merupakan data hasil observasi perubahan berat molekuler (MW) polistirena terhadap waktu saat proses degradasi dengan nano- TiO_2 dan sinar UV yang diperoleh dari percobaan (Rajesh, 2019) serta dilengkapi dengan data kondisi degradasi alami (Kaplan, 1979; Syranidou, 2017) sebagai pembanding.



Gambar 2. Diagram Alir Pemodelan Inversi

Penentuan orde reaksi dilakukan dengan memplotkan data ke dalam bentuk grafik MW polistirena terhadap waktu, \ln MW polistirena terhadap waktu dan grafik invers MW polistirena terhadap waktu yang masing-masing mengindikasikan reaksi orde nol, orde satu, dan orde dua jika kurva yang terbentuk merupakan garis lurus. Untuk menentukan kurva yang paling lurus, maka ditambahkan garis regresi linier dan dihitung nilai koefisien determinasinya (R^2) dari jumlah pangkat karena regresi (RSS) dan total jumlah kuadrat (TSS), dimana semakin besar R^2 menyatakan garis regresi semakin cocok dengan data, atau kurva data yang terbentuk semakin lurus.

$$R^2 = 1 - \frac{RSS}{TSS}$$

Dari grafik orde reaksi juga dapat diperoleh nilai konstanta laju (k) dari kemiringan kurva regresi linier hasil *fitting* data. Nilai orde reaksi dan konstanta laju kemudian disubstitusikan ke dalam hukum laju sesuai dengan orde reaksi sehingga menjadi model akhir yang disimulasikan dengan perangkat lunak MATLAB untuk memperoleh grafik dan waktu degradasi.

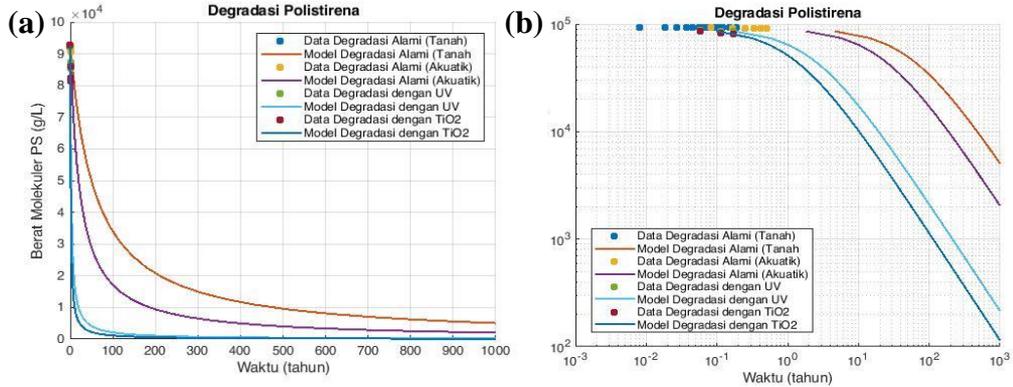
3. Hasil dan Pembahasan

Dengan metode grafik, diperoleh proses degradasi polistirena dengan TiO_2 merupakan reaksi orde dua karena grafik $1/\text{MW}$ terhadap waktu memiliki koefisien determinasi (R^2) yang paling besar, dan nilai konstanta laju (k) diperoleh dari kemiringan dari kurva regresi linier hasil *fitting* data pada kurva $1/\text{MW}$ terhadap waktu, sehingga reaksi ini memenuhi persamaan hukum laju orde 2 dan diperoleh solusi berupa berat molekuler polistirena sebagai fungsi dari waktu.

$$-\frac{dP}{dt} = k^2 P$$

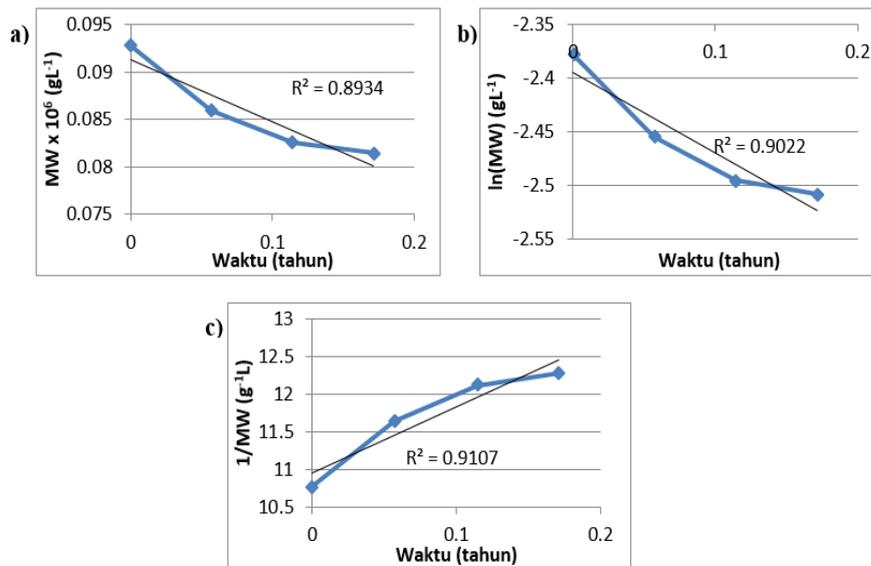
$$P(t) = \frac{P_0}{P_0 k t + 1}$$

dengan P adalah berat molekuler polistirena, dan k adalah konstanta laju reaksi. Hasil pemodelan cocok dengan data observasi dan diperoleh konstanta laju proses degradasi di tanah ($k_1 = 1.86 \times 10^{-7} \text{ gL}^{-1}\text{tahun}^{-1}$), di air ($k_2 = 4.77 \times 10^{-7} \text{ gL}^{-1}\text{tahun}^{-1}$), dengan UV ($k_3 = 4.64 \times 10^{-6} \text{ gL}^{-1}\text{tahun}^{-1}$), dengan TiO₂ ($k_4 = 8.71 \times 10^{-6} \text{ gL}^{-1}\text{tahun}^{-1}$).



Gambar 3. Model degradasi polistirena (a) skala aritmatika, (b) skala logaritmik

Berdasarkan Gambar 4, proses degradasi mikroplastik polistirena menggunakan nanofotokatalis TiO₂ memakan waktu lebih cepat dibandingkan dengan degradasi dengan sinar UV dan degradasi alami. Karena nilai konstanta laju degradasi dengan TiO₂ lebih besar, maka proses degradasinya lebih cepat dibandingkan kondisi lainnya. Hal ini sesuai dengan hukum laju dimana semakin besar nilai konstanta laju reaksi, semakin cepat pula reaksi degradasi yang terjadi. Hal tersebut disebabkan karena sebagai semikonduktor, TiO₂ memiliki sifat fotokatalitik yang dapat mempercepat proses reaksi. Selain itu ukurannya yang skala nano, membuat luas permukaan sentuh katalis semakin besar sehingga tumbukan antar partikel akan semakin sering terjadi, sehingga reaksi berjalan lebih cepat dibandingkan TiO₂ berukuran *bulk*.



Gambar 4. Grafik grafik MW polistirena terhadap waktu (a), ln MW polistirena terhadap waktu (b) dan grafik invers MW polistirena terhadap waktu (c)

Dari simulasi pemodelan, degradasi fotokatalik polistirena diperkirakan memakan waktu kurang dari 100 tahun. Proses ini 5 kali lebih cepat dibandingkan proses degradasi polistirena secara alami yang diperkirakan membutuhkan 500 tahun untuk terdekomposisi (Al-Odaini, 2016).

4. Kesimpulan

Degradasi fotokatalitik merupakan metode yang unggul dalam penanganan sampah plastik karena efektifitasnya dalam memacu proses degradasi polimer penyusun mikroplastik. TiO₂ banyak digunakan dalam degradasi polutan karena memiliki efisiensi fotokatalitis yang tinggi. Simulasi hasil pemodelan menunjukkan bahwa degradasi fotokatalik polistirena berjalan 5 kali lebih cepat dibandingkan proses degradasi polistirena secara alami.

Ucapan Terima Kasih

Penulis menyampaikan terima kasih kepada Kementerian Pendidikan dan Kebudayaan yang telah mendanai sepenuhnya penelitian ini melalui Program Kreativitas Mahasiswa 2020, semua instansi maupun perorangan yang telah memberikan dukungan moril dan materiil selama penyusunan *paper* ini.

Daftar Pustaka

1. R. Geyer, J.R. Jambeck and K.L Law, Production, use, and fate of all plastics ever made, *Science advances*, 3(7) (2017) p.e1700782.
2. M.O. Rodrigues and A.M.M. Gonçalves, Impacts of plastic products used in daily life on the environment and human health, *Environmental toxicology and pharmacology*, 72 (2019), p.103239.
3. H. Jangsun, C. Daheui and H. Jinkee, Potential toxicity of polystyrene microplastic particles, *Scientific Reports (Nature Publisher Group)*, 10(1) (2020).
4. A. Azizah, et al, Degradasi Polystyrene dengan Mikrobial, *3rd PH Symposium*, (2018).
5. Q. Shao, & J.X. Wang, Hydrothermal synthesis and photocatalytic property of porous CuO hollow microspheres, *Solid state sciences*, 20 (2013), pp.29-35.
6. L. Gnanasekaran, R. Hemamalini dan K. Ravichandran, Synthesis and characterization of TiO₂ quantum dots for photocatalytic application, *Journal of Saudi Chemical Society*, King Saud University, 19(5) (2015), p.589–594.
7. C. Rajesh, Solid-phase photodegradation of polystyrene by nano TiO₂ under ultraviolet radiation, *Environmental Nanotechnology*, 12 (2019), p.100229.
8. D.L. Kaplan, R. Hartenstein and J. Sutter, Biodegradation of polystyrene, poly (metnyl methacrylate), and phenol formaldehyde, *Applied and environmental microbiology*, 38(3), (1979), pp.551-553.
9. E. Syranidou and N. Kalogerakis, Biodegradation of weathered polystyrene films in seawater microcosms, *Scientific reports*, 7(1), (2017), pp.1-12.
10. N.A. Al-Odaini and N. Kannan, Sequestration and Redistribution of Emerging and Classical POPS by Polystyrene: *ACS Publications*, (2016), pp. 219-236.