



Optimalisasi Desain Reaktor Fotokatalitik untuk Degradasi Formaldehida Menggunakan Substrat *Stainless Steel Mesh*

Renita Dewi ^{1*}, Pribadi Mumpuni Adhi ¹, Tatun Hayatun Nufus ¹, dan Dianta Mustofa Kamal ¹

Sitasi: Dewi, Renita.; Mumpuni Adhi, Pribadi; Hayatun Nufus, Tatun; Mustofa Kamal, Dianta (2025). Optimalisasi Desain Reaktor Fotokatalitik untuk Degradasi Formaldehida Menggunakan Substrat *Stainless Steel Mesh*. J-TETA: Jurnal Teknik Terapan, V(4) N(1), hlm. 50-56



Copyright: © 20254 oleh para penulis. Karya ini dilisensikan di bawah Creative Commons Attribution-Share Alike 4.0 International License. (<https://creativecommons.org/licenses/by-sa/4.0/>).

¹ Program Studi Magister Terapan Rekayasa Teknologi Manufaktur, Jurusan Teknik Mesin, Politeknik Negeri Jakarta

* Korespondensi: renitadewi.tm23@stu.pnj.ac.id

Abstract: *Indoor air quality (IAQ) plays a crucial role in the health and comfort of building occupants, where pollutants like formaldehyde can cause serious health issues. To reduce formaldehyde levels, photocatalytic oxidation (PCO) technology using titanium dioxide (TiO₂) substrates has been shown to be effective. This study aims to optimize the PCO system design using TiO₂-coated stainless steel mesh substrates in a honeycomb monolith reactor configuration to enhance formaldehyde degradation efficiency. Three variations of stainless steel mesh layers (5, 10, and 15 layers) were tested to evaluate their impact on formaldehyde (HCHO) concentration reduction. The results indicated that increasing the number of mesh layers significantly improved the formaldehyde degradation efficiency. The highest efficiency, 96.06%, was observed with 15 layers, compared to 74.67% with 5 layers and 83.19% with 10 layers. The increase in mesh layers enlarged the surface area of the substrate, enhancing the reaction area and interaction between pollutants and the photocatalyst. This study suggests using more than 10 layers of stainless steel mesh in the PCO system design to achieve optimal performance in formaldehyde pollutant reduction.*

Keywords: *Formaldehyde, Indoor Air Quality, Photocatalytic Oxidation, Stainless Steel Mesh, Titanium Dioxide.*

Abstrak: Kualitas udara dalam ruangan (IAQ) berperan penting dalam kesehatan dan kenyamanan penghuni bangunan, di mana polutan seperti formaldehida dapat menimbulkan gangguan kesehatan serius. Dalam upaya mengurangi kadar formaldehida, teknologi oksidasi fotokatalitik (PCO) dengan substrat titanium dioksida (TiO₂) telah terbukti efektif. Penelitian ini bertujuan untuk mengoptimalkan desain sistem PCO dengan menggunakan substrat stainless steel mesh yang dilapisi TiO₂, dalam konfigurasi reaktor honeycomb monolith, untuk meningkatkan efisiensi degradasi formaldehida. Tiga variasi jumlah lembar stainless steel mesh (5, 10, dan 15 lembar) digunakan dalam penelitian ini untuk mengevaluasi pengaruhnya terhadap pengurangan konsentrasi formaldehida (HCHO). Hasil pengujian menunjukkan bahwa penambahan jumlah lembar mesh secara signifikan meningkatkan efisiensi degradasi formaldehida. Efisiensi tertinggi tercatat pada 15 lembar substrat, dengan nilai 96,06%, dibandingkan dengan 74,67% pada 5 lembar dan 83,19% pada 10 lembar. Penambahan jumlah lembar meningkatkan luas permukaan substrat, yang memperbesar area reaksi dan meningkatkan interaksi antara polutan dan fotokatalis. Dengan demikian, penelitian ini menyarankan penggunaan lebih dari 10 lembar stainless steel mesh dalam desain sistem PCO untuk mencapai performa optimal dalam pengurangan polutan formaldehida.

Kata kunci: Formaldehida, Kualitas Udara dalam Ruangan, Oksidasi Fotokatalitik, *Stainless Steel Mesh*, Titanium Dioksida.

1. Pendahuluan

Kualitas udara dalam ruangan (IAQ) merupakan faktor krusial yang memengaruhi kesehatan dan kenyamanan penghuni bangunan [1]. Lebih dari 87% orang menghabiskan waktu di dalam ruangan [2], sehingga penting untuk memahami dampak polutan dalam ruangan seperti formaldehida [3]. Polutan ini dapat menyebabkan gangguan kesehatan serius, termasuk gangguan pernapasan dan risiko kanker [4]. Formaldehida, sebagai salah satu senyawa organik volatil (VOC) yang paling umum ditemukan dalam berbagai produk rumah tangga dan industri [5] menjadi perhatian utama dalam pengendalian kualitas udara [6].

Dalam upaya untuk mengurangi kadar formaldehida, metode oksidasi fotokatalitik (PCO) telah muncul sebagai solusi yang menjanjikan [7]. Teknologi ini memanfaatkan fotokatalis semikonduktor, seperti titanium dioksida (TiO_2) [8] dan radiasi ultraviolet untuk mengurai polutan menjadi senyawa yang lebih aman [9]. Teknologi PCO dapat mengubah formaldehida (HCHO) menjadi karbon dioksida (CO_2) dan air (H_2O) [10]. Meskipun banyak penelitian telah menunjukkan efektivitas TiO_2 dalam mengurangi formaldehida [11], pemilihan substrat yang tepat sangat berpengaruh terhadap kinerja sistem PCO. Substrat berfungsi sebagai penopang katalis dan menyediakan permukaan yang memungkinkan interaksi antara polutan dan katalis [12].

Stainless steel mesh, dengan sifat konduktif dan kekuatan mekanis yang tinggi, menawarkan potensi untuk meningkatkan efisiensi proses fotokatalitik [13]. Namun, penggunaan substrat ini dalam sistem PCO untuk degradasi formaldehida masih belum banyak dieksplorasi. Sico *et.al* (2023) mengevaluasi hasil pemisahan oli dan air menggunakan stainless steel mesh (80, 100, 200, 300, 400) yang dilapisi TiO_2 . Hasilnya menunjukkan ukuran mesh yang semakin besar, dapat meningkatkan efisiensi fotokatalitik [14]. Laju transfer massa konvektif VOC, laju reaksi kinetik, dan luas permukaan reaksi adalah parameter kinerja yang paling penting dari sebuah reaktor PCO [15]. Penelitian ini bertujuan untuk mengoptimalkan desain sistem PCO dengan menggunakan stainless steel mesh dengan ukuran mesh yang sama namun dalam jumlah lembaran yang berbeda. Dengan mengevaluasi pengaruh variasi jumlah lembaran stainless steel mesh yang digunakan, diharapkan dapat ditemukan desain optimal yang tidak hanya meningkatkan efisiensi degradasi formaldehida, tetapi juga memberikan kontribusi signifikan terhadap peningkatan kualitas udara dalam ruangan.

2. Bahan dan Metode

Penelitian ini bertujuan untuk mengevaluasi pengaruh jumlah lembaran stainless steel mesh yang bervariasi terhadap efisiensi degradasi polutan formaldehida (HCHO) dalam sistem oksidasi fotokatalitik (PCO). Diagram alir penelitian dapat dilihat pada gambar dibawah ini :



Gambar 1. Diagram Alir Penelitian

2.1. Desain dan Konfigurasi Reaktor

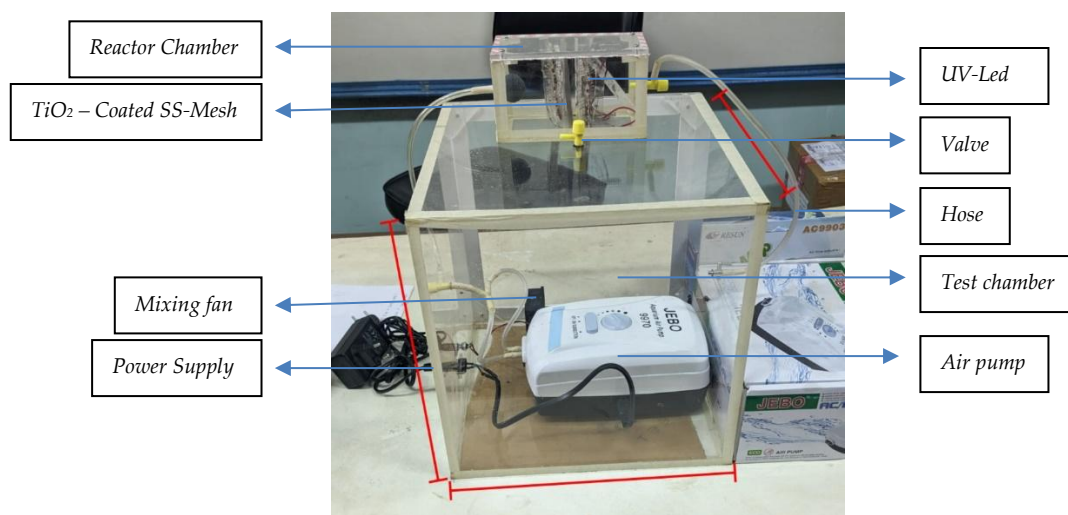
Reaktor PCO dirancang dalam konfigurasi honeycomb monolith untuk meningkatkan efisiensi reaksi [16].

Substrat utama dalam sistem ini memiliki lubang-lubang kecil yang memungkinkan aliran udara atau fluida melaluinya. Lampu UV ditempatkan sejajar dengan permukaan substrat. Stainless steel mesh 304 (woven wire mesh 50) digunakan sebagai substrat, dengan ukuran 65 mm x 65 mm, ketebalan 1 mm, serta ukuran diameter lubang 0,35 mm. Dengan peningkatan luas permukaan, dapat diasumsikan bahwa akan ada jumlah situs aktif dan pasangan e⁻-h⁺ yang lebih besar, serta konsentrasi yang lebih tinggi dari polutan pada fotokatalis [17]. Oleh karena itu, luas permukaan yang lebih besar dapat meningkatkan aktivitas fotokatalitik [18], [19]. Pengujian dilakukan dengan tiga variasi jumlah lembaran substrat, yaitu 5, 10, dan 15 lembar yang disusun secara berlapis. Secara perhitungan teoritis, luas permukaan yang dihasilkan untuk masing-masing variasi sebagai berikut:

- 5 lembar: 7.880 mm²
- 10 lembar: 15.760 mm²
- 15 lembar: 23.640 mm²

2.2. Persiapan Peralatan dan Bahan

Gambar 2 memperlihatkan *test chamber* (ruang uji) yang digunakan dengan volume 1 m³, terdiri dari *mixing chamber* dengan kapasitas 54.000 cm³ dan *reactor chamber* dengan kapasitas 718,32 cm³ yang terbuat dari akrilik. *Mixing chamber* dilengkapi dengan *Air Quality Detector* JSM-131 SC, pompa udara, dan *mixing fan* untuk memastikan sirkulasi udara yang merata. Sebelum pengujian, dilakukan pengecekan untuk memastikan tidak ada kebocoran dan semua komponen berfungsi dengan baik.



Gambar 2. Test chamber

2.3. Persiapan Reaktor PCO

Substrat stainless steel mesh (304 woven wire mesh 50) dipotong menjadi ukuran 65 mm x 65 mm seperti gambar 3. Pelapisan TiO₂ dilakukan dengan metode dip-coating. Sintesis sol TiO₂ dilakukan dengan cara mengasamkan 500 mL air hingga pH 3 menggunakan asam nitrat, kemudian mencampurkan TiO₂ P25 Evonik dan TEOS ke dalamnya. Setelah pengadukan, sol yang dihasilkan didiamkan selama 1 hari, dan pelapisan dilakukan sebanyak 5 kali.



Gambar 3. Substrat stainless steel mesh (304 woven wire mesh 50)

2.4. Pengukuran Konsentrasi Formaldehida

Konsentrasi formaldehida (HCHO) yang terdapat dalam asap rokok diukur menggunakan *Air Quality Detector* JSM-131 SC. Rokok yang digunakan adalah tipe natural blend dengan kandungan 45,3 mg tar dan 1,9 mg nikotin.

Batang rokok yang sudah dibakar dimasukkan ke dalam *syringe* dan diinjeksikan ke dalam *test chamber* melalui *inlet valve*. Pengukuran konsentrasi dilakukan sebelum injeksi, setelah injeksi, dan setelah reaktor diaktifkan. Target penurunan konsentrasi formaldehida adalah dibawah 0,1 ppm dalam waktu 30 menit [20]. Pengambilan data dilakukan setiap 30 detik selama durasi pengujian.

2.5. Analisis Data

Data hasil pengujian untuk masing-masing variasi akan dianalisis untuk menentukan variasi lembaran mana yang paling optimal dalam meningkatkan efisiensi degradasi formaldehida. Efisiensi degradasi formaldehida (R) dihitung menggunakan rumus [21] :

$$R = \left(1 - \frac{C}{C_0} \right) \times 100\% \quad (1)$$

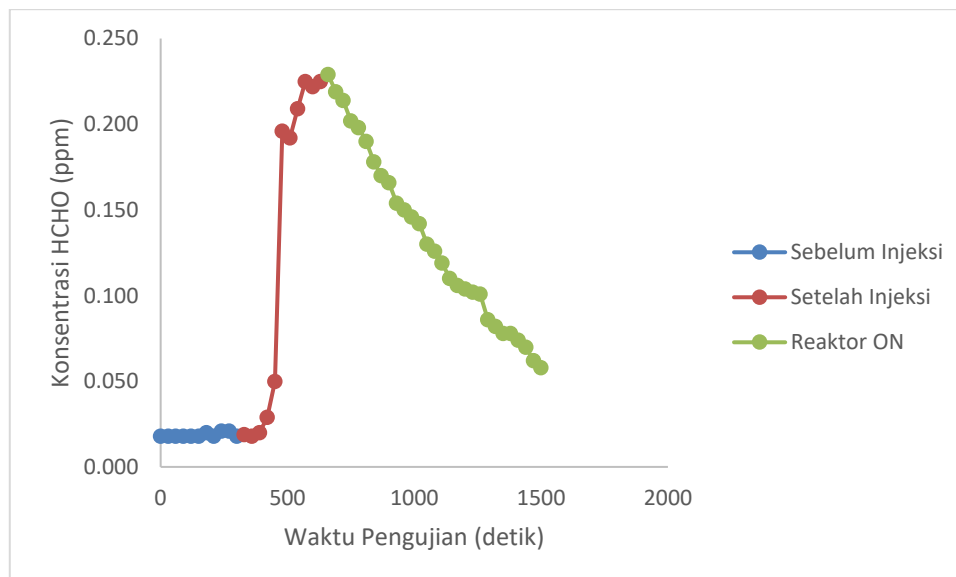
dimana C_0 adalah konsentrasi awal formaldehida (pada $t=0$), dan C adalah konsentrasi formaldehida pada waktu t .

3. Hasil

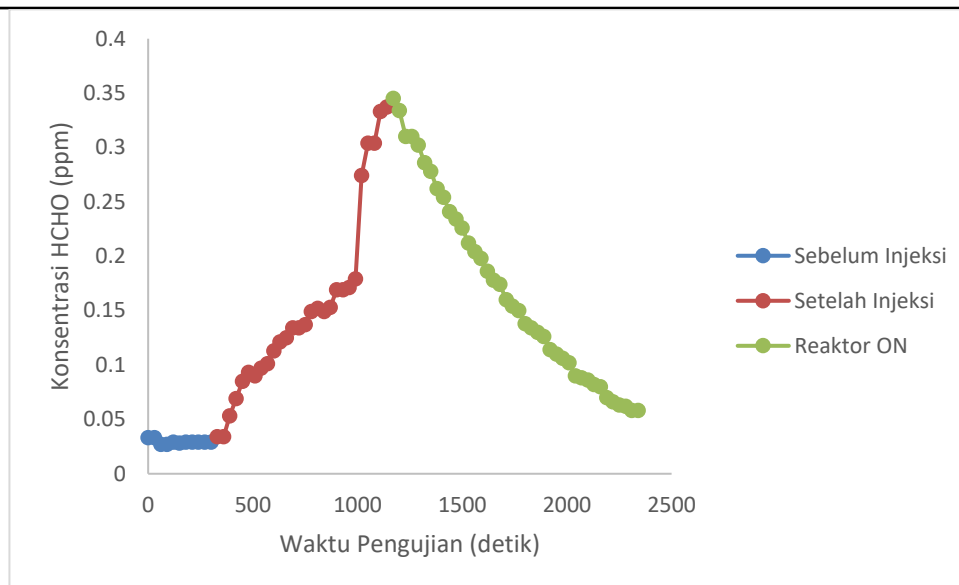
Dalam penelitian ini, dilakukan pengujian terhadap tiga variasi jumlah lembar SS-Mesh (5, 10, dan 15 lembar) untuk mengevaluasi efektivitas sistem dalam mengurangi konsentrasi HCHO pada sampel asap rokok. Data hasil pengujian dapat dilihat pada tabel di bawah ini.

Tabel 1. Data Pengukuran HCHO pada 3 Variasi Substrat

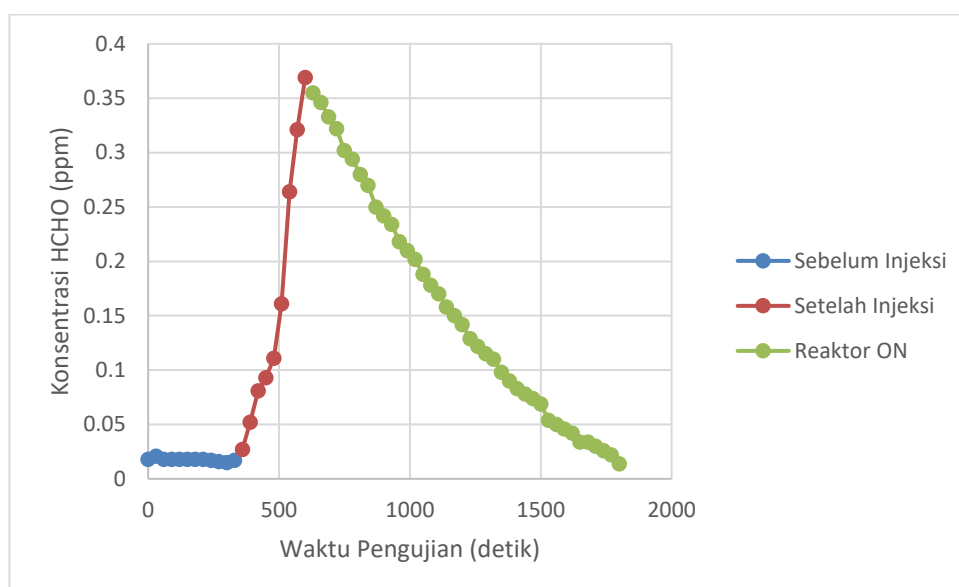
Variasi	Sebelum Injeksi (ppm)	Setelah Injeksi (ppm)	Reaktor ON (ppm)
5 lembar	0.018	0.225	0.058
10 lembar	0.033	0.337	0.058
15 lembar	0.018	0.369	0.014



Gambar 4. Data Pengukuran HCHO pada 5 Lembar



Gambar 5. Data Pengukuran HCHO pada 10 Lembar



Gambar 6. Data Pengukuran HCHO pada 15 Lembar

4. Pembahasan

Hasil pengujian menunjukkan bahwa jumlah lembar yang digunakan berpengaruh signifikan terhadap efisiensi sistem:

- Pengujian 5 Lembar: Efisiensi sebesar 74,67%, meskipun terjadi penurunan konsentrasi yang signifikan, kapasitas penyerapan masih terbatas.
- Pengujian 10 Lembar: Mencatat efisiensi 83,19%, menunjukkan bahwa penambahan jumlah lembar berkontribusi positif terhadap kemampuan sistem dalam mengurangi konsentrasi HCHO.
- Pengujian 15 Lembar: Efisiensi tertinggi sebesar 96,06% menunjukkan interaksi yang lebih baik antara bahan yang diuji dengan substrat, sehingga meningkatkan penyerapan.

Secara keseluruhan, hasil pengujian menunjukkan bahwa penambahan jumlah lembar meningkatkan efisiensi pengurangan konsentrasi HCHO, menunjukkan bahwa desain sistem dan jumlah media adalah faktor kunci dalam meningkatkan performa reaktor.

5. Kesimpulan

Penelitian ini menunjukkan bahwa optimalisasi desain sistem oksidasi fotokatalitik (PCO) dapat dicapai melalui penambahan jumlah lembar stainless steel mesh sebagai substrat. Hasil pengujian menunjukkan peningkatan efisiensi degradasi formaldehida dengan bertambahnya jumlah lembar, dari 74,67% (5 lembar) menjadi 96,06% (15 lembar).

Peningkatan efisiensi ini tidak hanya mencerminkan peningkatan luas permukaan substrat tetapi juga interaksi yang lebih baik antara polutan dan substrat. Berdasarkan hasil penelitian, disarankan untuk menerapkan desain sistem PCO dengan lebih dari 10 lembar stainless steel mesh untuk mencapai performa optimal dalam pengurangan konsentrasi polutan. Optimalisasi desain PCO yang tepat akan berkontribusi signifikan dalam mengurangi kontaminasi udara dalam ruangan dan meningkatkan kualitas lingkungan, terutama di area yang terpapar polutan seperti asap rokok.

Referensi

- [1] W. I. D. Aurora, "Efek Indoor Air Pollution Terhadap Kesehatan," *e-SEHAD*, vol. 1, no. 2, pp. 32–39, 2021.
- [2] N. E. Klepeis *et al.*, "The National Human Activity Pattern Survey (NHAPS): a resource for assessing exposure to environmental pollutants," 2001. [Online]. Available: www.nature.com/jea
- [3] T. Salthammer, S. Mentese, and R. Marutzky, "Formaldehyde in the indoor environment," *Chem Rev*, vol. 110, no. 4, pp. 2536–2572, 2010, doi: 10.1021/cr800399g.
- [4] P. Ni, Z. Zhang, H. Xu, and X. Zhang, "Emission Characteristics of Formaldehyde and Particulate Matter in Side-Stream Smoke Emitted from Cigarettes in an Environmental Chamber," *Pol J Environ Stud*, vol. 31, no. 2, pp. 1247–1256, 2022, doi: 10.15244/pjoes/141804.
- [5] Y. Huang *et al.*, "Removal of indoor volatile organic compounds via photocatalytic oxidation: A short review and prospect," *Molecules*, vol. 21, no. 1, 2016, doi: 10.3390/molecules21010056.
- [6] W. Mazurkiewicz, J. Sak, M. Nowiński, and L. A. Fus-Mazurkiewicz, "Environmental exposure to formaldehyde and effects on human health," *Environmental Medicine*, vol. 27, no. 2, pp. 41–45, Jul. 2024, doi: 10.26444/ms/189610.
- [7] A. H. Mamaghani, F. Haghighat, and C. S. Lee, "Photocatalytic oxidation technology for indoor environment air purification: The state-of-the-art," *Appl Catal B*, vol. 203, pp. 247–269, 2017, doi: 10.1016/j.apcatb.2016.10.037.
- [8] H. Chen, C. E. Nanayakkara, and V. H. Grassian, "Titanium dioxide photocatalysis in atmospheric chemistry," *Chem Rev*, vol. 112, no. 11, pp. 5919–5948, 2012, doi: 10.1021/cr3002092.
- [9] J. Zhao and X. Yang, "Photocatalytic oxidation for indoor air purification: A literature review," *Build Environ*, vol. 38, no. 5, pp. 645–654, 2003, doi: 10.1016/S0360-1323(02)00212-3.
- [10] C. yong Li, Y. rong Jia, X. chao Zhang, S. ying Zhang, and A. dong Tang, "Photocatalytic degradation of formaldehyde using mesoporous TiO₂ prepared by evaporation-induced self-assembly," *J Cent South Univ*, vol. 21, no. 11, pp. 4066–4070, Nov. 2014, doi: 10.1007/s11771-014-2398-1.
- [11] M. Tasbihi, J. K. Bendyna, P. H. L. Notten, and H. T. Hintzen, "A short review on photocatalytic degradation of formaldehyde," Sep. 01, 2015, *American Scientific Publishers*. doi: 10.1166/jnn.2015.10872.
- [12] L. Xu, J. Chen, P. Zhao, B. Shen, Z. Zhou, and Z. Wang, "Stable Loading of TiO₂ Catalysts on the Surface of Metal Substrate for Enhanced Photocatalytic Toluene Oxidation," *Molecules*, vol. 28, no. 17, Sep. 2023, doi: 10.3390/molecules28176187.
- [13] W. Scholarship, J. M. Garcia Hernandez, S. Hugo de Lasa, and G. Hernandez, "Photocatalytic Reactors for Air Treatment: Energy Efficiencies and Photocatalytic Reactors for Air Treatment: Energy Efficiencies and Kinetic Modeling Kinetic Modeling Recommended Citation Recommended Citation," Apr. 2012. [Online]. Available: <https://ir.lib.uwo.ca/etd>
- [14] J. Sico *et al.*, "Fabrication and Characterization of TiO₂ Coatings on 304 Stainless-Steel Substrate for Efficient Oil/Water Separation," *Coatings*, vol. 13, no. 11, Nov. 2023, doi: 10.3390/coatings13111920.
- [15] J. Mo, Y. Zhang, and R. Yang, "Novel insight into VOC removal performance of photocatalytic oxidation reactors," *Indoor Air*, vol. 15, no. 4, pp. 291–300, 2005, doi: 10.1111/j.1600-0668.2005.00374.x.
- [16] S. O. Hay *et al.*, *The viability of photocatalysis for air purification*, vol. 20, no. 1. 2015. doi: 10.3390/molecules20011319.
- [17] H. Ren, P. Koshy, W. F. Chen, S. Qi, and C. C. Sorrell, "Photocatalytic materials and technologies for air purification," *J Hazard Mater*, vol. 325, pp. 340–366, 2017, doi: 10.1016/j.jhazmat.2016.08.072.
- [18] Syamsudin, Haolia, Pribadi, and Isnanda, "Efek Peningkatan Luas Permukaan Reaktor Photocatalytic Oxidation Terhadap Penurunan Polutan Formaldehyde di Udara," *Prosiding Seminar Nasional Teknik Mesin, Politeknik Negeri Jakarta*, pp. p1645–p1652, 2021.
- [19] P. M. Adhi, H. Rahman, I. Nuriskasari, Syamsudin, and A. Syahrom, "A Simple and Low-cost Photocatalytic Air Purification Test Method," in *Journal of Physics: Conference Series*, Institute of Physics, 2022. doi: 10.1088/1742-6596/2243/1/012075.

-
- [20] "PERATURAN MENTERI KESEHATAN REPUBLIK INDONESIA."
- [21] C. Passalía, M. E. Martínez Retamar, O. M. Alfano, R. J. Brandi, and M. E. M. Retamar, "Photocatalytic Degradation of Formaldehyde in Gas Phase on TiO₂ Films: A Kinetic Study Photocatalytic Degradation of Formaldehyde in Gas Phase on TiO₂ Films: A Kinetic Study *," *INTERNATIONAL JOURNAL OF CHEMICAL REACTOR ENGINEERING*, vol. 8, 2010.