



Sintesis Lempung Terpillar TiO₂ dan Uji Kemampuan Penyisihan Zat Organik Terlarut pada Air Lindi TPA Kampus Undip Tembalang

Suhartana^{1*}, Atikah Ayu Janitra¹, Choiril Azmiyawati¹, Sriyanti¹, Sariatun¹, Pardoyo¹

¹Departemen Kimia, Fakultas Sains dan Matematika, Universitas Diponegoro. Jl. Prof. Sudarto SH, Tembalang, Semarang 50275

*Corresponding author: suhartana@live.undip.ac.id

Received: 11 Oktober 2024 / Accepted: 10 Juni 2025

Available online: 15 Juni 2025

Abstrak

Pembuatan lempung terpillar TiO₂ dan uji kemampuan adsorpsi dan fotokatalitik pada penghilangan senyawa organik terlarut telah dilakukan. Tujuan penelitian ini adalah membuat lempung yang diaktivasi asam dan terpillar TiO₂ serta uji performa adsorpsi-fotokatalitik pada penghilangan senyawa organik terlarut pada air lindi dari tempat pembuangan akhir (TPA) kampus UNDIP Tembalang. Sintesis lempung terpillar TiO₂ dilakukan melalui aktivasi lempung dan pilarisasi lempung. Proses aktivasi lempung menggunakan H₂SO₄ pada sistem refluks, kemudian dilakukan pilarisasi dengan penambahan agen pemilar lalu dikalsinasi. Lempung alam, teraktivasi, dan terpillar TiO₂ dikarakterisasi menggunakan FTIR dan XRD, masing – masing untuk menentukan gugus fungsi dan mengetahui basal spacing dari ketiga lempung tersebut. Kemampuan penyisihan lempung terhadap zat organik terlarut diukur dari konsentrasi zat organik terlarut sisa dalam filtrat menggunakan parameter COD, BOD, TSS, pH dan TSS. Hasil yang diperoleh pada penelitian ini menunjukkan bahwa aktivasi dan pilarisasi lempung dapat menyebabkan penurunan rasio gugus fungsi SiOH/SiOTi dan peningkatan basal spacing. Perubahan terbesar terjadi pada lempung terpillar TiO₂ variasi 3 terhadap lempung alam, yakni rasio SiOH/SiOTi menurun dari 0,6773 menjadi 0,5735 dan basal spacing meningkat dari 19.1868 Å pada 2θ = 4.6° menjadi 29.1673 Å pada 2θ = 3.03°. Kemampuan optimal pada penyisihan senyawa organik terlarut yang berasal dari tempat pembuangan akhir (TPA) kampus UNDIP Tembalang terjadi pada waktu kontak 45 menit dengan randemen 70,15 (pada lempung sebelum terpillar) – 89,8% (pada lempung sesudah terpillar TiO₂).

Kata Kunci: Kalsium fosfat amorf, β-trikalsium fosfat, Sol-gel, Adsorben

1. Pendahuluan

Lempung merupakan salah satu kekayaan Indonesia yang berlimpah dan belum dimanfaatkan secara optimal. Lempung terdiri dari lapisan yang beragam dengan ion berkoordinasi secara oktahedral yang berada di antara 2 lapisan ion yang berkoordinasi membentuk tetrahedral. Lempung memiliki kapasitas adsorpsi yang tinggi dan mampu mengadsorpsi ion logam, molekul organik, gas dan cairan. Lapisan permukaannya dapat berubah bila diberi suatu perlakuan yang menyebabkan meningkatkan kemampuan sebagai adsorben [1]. Oleh karena itu untuk meningkatkan potensi lempung sebagai adsorben dapat dilakukan dengan aktivasi dan pemiliran lempung. Pengaktifan lempung merupakan salah satu metode yang digunakan untuk meningkatkan kemampuan lempung sebagai adsorben [2]. Pilarisasi dilakukan dengan menginterkalasikan polikation hidroksi pada lempung, kemudian dikalsinasi sehingga membentuk pilar oksida logam [3]. Logam Ti dalam

bentuk senyawa TiO₂ memiliki kemampuan fotokatalitik, karakteristik optimal, kemampuan yang baik, harganya terjangkau, sifat kimia inert, fotostabilitas dan biokompatibel [4]. Penggunaannya sangat tinggi dalam degradasi polutan dengan fotokatalis [5, 6].

Dalam beberapa tahun terakhir, peningkatan populasi, percepatan industrialisasi, dan pembangunan ekonomi yang berkelanjutan telah menyebabkan peningkatan pesat dalam produksi limbah padat kota dan industri; metode penimbunan sampah sanitasi merupakan metode yang diterima dan digunakan secara luas untuk pengolahan limbah karena keuntungan ekonominya [7].

Lindi dihasilkan dari hujan yang melewati lokasi penimbunan sampah dan dari cairan yang dihasilkan oleh penguraian limbah di dalam penimbunan sampah [8]. Lindi penimbunan sampah mengandung sejumlah besar senyawa, seperti

Doi:

senyawa organik dan anorganik serta logam berat. Pelepasan zat-zat beracun dan berbahaya ini ke lingkungan alam dapat menyebabkan pencemaran air tanah, air permukaan, dan tanah, yang mengancam kesehatan manusia dan alam [9]. Air lindi TPA secara umum dikenal sebagai air limbah berkekuatan tinggi karena komposisinya sangat kompleks dan sangat bervariasi, sehingga sangat sulit untuk ditangani [10]. Beberapa penelitian telah melaporkan bahwa air lindi dapat diolah dengan metode biologis dan fisikokimia [11]. Metode biologis meliputi pengolahan air lindi TPA dengan proses aerobik atau anaerobik. Namun, ketika menangani air lindi TPA dengan daya urai biologis rendah, pengolahan biologis mungkin tidak mencapai hasil yang baik karena sifat karbon organik yang membandel dalam air lindi [12]. Oleh karena itu, pengolahan fisikokimia air lindi TPA telah mendapat perhatian lebih. Metode untuk mengolah lindi TPA yang distabilkan meliputi koagulasi-flokulasi [13], proses Fenton [14], teknologi memberan [15], Aplikasi Bioflokulan [15], Kombinasi proses fisika – kimia nanofiltrasi [16], presipitasi kimia dan proses karbon aktif yang melekat pada mikroorganisme dengan proses alir/ terfluidisasi [17]. Selama dekade terakhir, teknologi elektrokimia canggih untuk mengolah lindi TPA, seperti elektooksidasi (EO), elektrokoagulasi (EC), dan elektro-Fenton, dengan penambahan reagen tertentu telah semakin mendapat perhatian karena peningkatan efisiensi yang dapat dicapai dengan menggunakan reaktor elektrokimia bipolar yang mudah dioperasikan dan dikendalikan [18]. Pada penelitian ini akan dibuat lempung teraktivasi asam dan lempung terpillar TiO₂ serta uji kemampuan adsorpsi dan fotokatalitik pada penyisihan senyawa organik terlarut yang berasal dari tempat pembuangan akhir (TPA) kampus UNDIP Tembalan

2. Metode Penelitian

2.1. Alat dan Bahan

Alat: Alat yang digunakan adalah magnetic stirrer, pH meter, oven, furnis, spektrofotometer *fourier transform-infrared* (FT-IR) (Shimadzu), Spektrofotometr UV-Vis

Bahan: Bahan yang digunakan adalah Lempung, H₂SO₄ (Merck), AgNO₃ (Merck), TiCl₄ (Merck), NH₄OH (Merck), Etano (Merck) dan akuabides.

2.2. Cara Kerja

2.2.1 Preparasi Lempung

Dilakukan proses fraksinasi untuk memisahkan fraksi ringan dan fraksi berat. Proses fraksinasi dilakukan dengan melarutkan lempung pada aquades sampai terbentuk suspensi lempung. Pendiaman dilakukan selama 24 jam sampai fraksi berat mengendap dan fraksi ringan dapat dipisahkan. Suspensi fraksi ringan didiamkan kembali sampai terbentuk endapan, lalu endapan tersebut dikeringkan. Sampel lempung yang telah kering, kemudian dilakukan penghalusan dan pengayakan 170 mesh.

2.2.2 Aktivitas Lempung

Sampel lempung alam yang telah dipreparasi kemudian sebanyak 20 gram direfluks dengan penambahan 200 mL H₂SO₄ 0,5 M, selama 3 jam pada 60°C [2]. Kemudian dilakukan pembilasan dengan aquades guna menetralkan pH dan menghilangkan ion SO₄²⁻, dikatakan ion SO₄²⁻ sudah tidak ada bila dengan penambahan AgNO₃ tidak terbentuk endapan putih berupa Ag₂SO₄. Dilakukan pemanasan selama 6 jam pada suhu 120°C. Penggerusan dan pengayakan 170 mesh.

2.2.3 Pembuatan Agen Pemilar

Pembuatan agen pemilar berupa larutan Ti-polikation dilakukan secara perlahan disertai pengadukan selama 3 jam dengan menambahkan 3,5 mL TiCl₄ dengan 52,5 mL etanol, sampai terbentuk larutan homogen berwarna kuning (Shaheed dan Hussein, 2012). Hal yang sama dilakukan untuk variasi rasio etanol yakni 105 mL dan 157,5 mL

2.2.4 Pemiliran Agen Pemilar TiO₂ pada Lempung teraktivasi

Lempung teraktivasi sebanyak 10 gram ditambahkan secara perlahan pada larutan agen pemilar TiO₂, sambil diaduk dengan magnetic stirrer pada suhu kamar selama 18 jam sampai homogen. Lempung dicuci menggunakan etanol 96% sampai pH netral dan bebas dari ion Cl⁻, dikatakan ion Cl⁻ sudah tidak ada bila dengan penambahan AgNO₃ tidak terbentuk endapan putih berupa AgCl. Dikeringkan semalam menggunakan oven 70°C. Kemudian dikalsinasi menggunakan furnace pada suhu 200°C selama 4 jam dengan kenaikan laju panas 2 °C/menit [19]. Lalu sampel digerus dan diayak dengan ukuran ayakan 170 mesh

2.2.5 Uji Adsorpsi dan Penyisihan

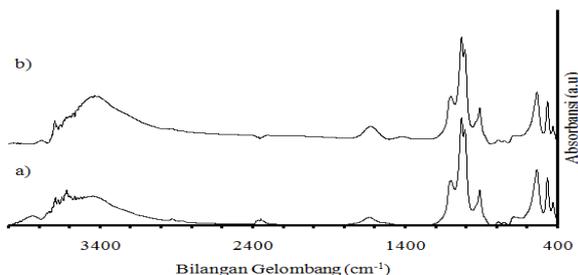
Zat organik terlarut yang berasal dari TPA kampus UNDIP Tembalang, dilakukan pengukuran (Bau, Kekeruhan, Warna, COD, BOD, TSS, pH dan TSS) hingga 8 kali dan dirata-rata. Adsorpsi dan penyisihan dilakukan menggunakan beberapa variasi yaitu variasi lempung dan waktu kontak. Variasi lempung, yakni menggunakan lempung alam, lempung alam teraktivasi dan lempung aktivasi terpillar TiO₂ variasi 3, masing – masing sebanyak 0,1 gram ditambahkan zat warna 10 mL [20]. Variasi waktu kontak dilakukan pada waktu 1; 3; 5; 7; 10; 15; 30; 60 dan 90 menit diaduk dengan magnetik stirrer. Untuk lempung aktivasi terpillar dilakukan pula aplikasi penyisihan, yakni dilakukan penyinaran menggunakan lampu UV sebesar 20 watt. Larutan kemudian dipisahkan antara filtrat dan residu dengan centrifuge, filtrat dianalisis dengan menggunakan parameter yang sama dengan sebelu di treatment yakni: Bau, Kekeruhan, Warna, COD, BOD, TSS, pH dan TSS.

3. Hasil dan Pembahasan

3.1 Analisis Jenis Gugus Fungsi pada Lempung

Doi:

Hasil karakterisasi FTIR diperoleh spektra yang menunjukkan kemunculan beberapa puncak tertentu pada bilangan gelombang dengan absorbansi tertentu, kemudian diidentifikasi kemunculan puncak tersebut menandakan adanya gugus fungsi tertentu, seperti tersaji pada Gambar 3.1 sebagai berikut.



Gambar 3. 1 Spektra FTIR a) lempung alam dan b) lempung terpilars TiO_2

Perubahan Basal Spacing pada Lempung

Lempung alam, lempung teraktivasi dan lempung terpilars TiO_2 dianalisis menggunakan XRD yang diamati dengan adanya pergeseran puncak pada bidang atau *basal spacing* yang ditunjukkan oleh munculnya puncak difraktogram pada sudut difraksi tertentu (2θ). Perubahan Basal Spacing yang diperoleh dalam percobaan kami adalah seperti tersaji pada Tabel 3.1.

Variasi Lempung	2θ	Intensitas	Basal Spacing (Å)
Alam	4,6	64	19,19
	5,16	60	17,079
Teraktivasi	4,2	64	21,01
	5	46	17,65
Terpilars TiO_2 Var 1	3,74	140	23,59
	4,1	109	21,22
Terpilars TiO_2 Var 2	3,31	162	26,62
	3,48	155	25,33
Terpilars TiO_2 Var 3	3,03	193	29,17
	3,01	178	29,33

Tabel 3. 1 Perubahan *basal spacing* antara lempung alam, lempung aktivasi dan lempung terpilars TiO_2

Pada Tabel 3.1 dapat dilihat *basal spacing* mengalami peningkatan setelah mengalami proses pemiliran dibandingkan dengan lempung teraktivasi. Hal ini dikarenakan oleh pemasangan Ti-polihidroksi yang berukuran besar ke dalam antar lapis lempung, sehingga mengakibatkan *basal spacing* meningkat. Pada refleksi utama d_{001} terjadi pada 2θ yang lebih kecil, mengindikasikan terjadinya peningkatan *basal spacing* akibat pemiliran. Hal ini menunjukkan bahwa lempung terpilars susunannya lebih tersusun teratur [23]. Kalsinasi dilakukan untuk merubah Ti-polihidroksi

menjadi pilar TiO_2 , oksida logam yang dihasilkan dapat berperan sebagai pilar sekaligus memodifikasi lempung menjadi katalis dalam fotokatalisis dekolerasi zat warna. Kalsinasi pada suhu tinggi menyebabkan berubahnya nilai d_{001} menunjukkan bahwa terjadi perubahan kation dalam antarlapis lempung [24], perubahan kation terjadi karena adanya proses *cation exchange* spesi Ti^{4+} dalam antarlapis lempung.

3.2. Aplikasi Adsorpsi dan Penyisihan Zat Organik Terlarut Pada Air Lindi di TPA Kampus UNDIP Tembalang

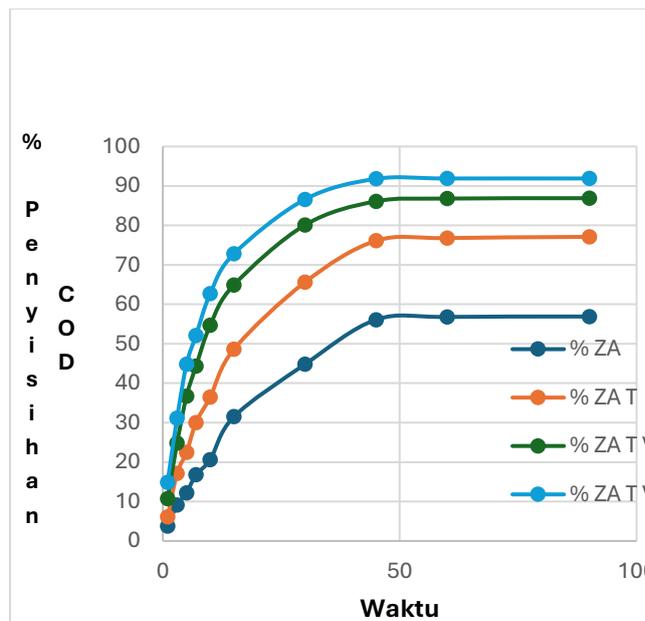
Kemampuan lempung alam, lempung aktivasi dan lempung terpilars TiO_2 untuk melakukan adsorpsi dan penyisihan zat organik terlarut pada air lindi TPA UNDIP Tembalang seperti tersaji pada Tabel 3.2.

Tabel 3.2 Hasil Pengukuran Bau, Kekeruhan, Warna, COD, BOD, TSS, pH dan Residu terlarut Sebelum dan Setelah Proses, dibandingkan dengan Peraturan Pemerintah.

Parameter	Sebelum Proses	Setelah Proses	PerMenKes: No: 416/1990	PP No: 82 Tahun 2001
Bau	Sedikt berbau	Tak berbau	Tak berbau	Tak berbau
Kekeruhan	Sedikit keruh	Tidak keruh	Tidak keruh	Tidak keruh
Warna	Kekuningan	Bening	Bening	Bening
COD	326,8 ppm	143,5 – 17,1 ppm	100 ppm	100 ppm
BOD	89,9 ppm	14,9 – 5,7 ppm	12 ppm	12 ppm
TSS	412,2 ppm	128,4 – 66,6 ppm	400 ppm	400 ppm
pH	5,7 ppm	6,6 – 6,9 ppm	5 – 9 ppm	5 – 9 ppm
Residu terlarut	232,3 ppm	72,9 – 56,8 ppm	200 ppm	200 ppm

Yang tersaji pada tabel 3.2 adalah merupakan Hasil Pengukuran Bau, Kekeruhan, Warna, COD, BOD, TSS, pH dan Residu terlarut Pada Sampel Sebelum Proses, Setelah Proses, dibandingkan dengan Peraturan Menteri Kesehatan No:416/ 1990 dan Peraturan Pemerintah No: 82 Tahun 2001. Penurunan yang terkecil adalah dari adsorpsi lempung alam, diikuti oleh lempung teraktivasi, diikuti oleh lempung terpilars TiO_2 variasi 3 tanpa penyinaran UV dan paling tinggi penurunan kadar COD, BOD, TSS dan residu terlarut ada pada lempung terpilars TiO_2 variasi 3 dengan bantuan penyinaran UV. Secara rinci hasil perbandingannya tersebut terhadap variasi waktu dapat dipaparkan seperti gambar 3.3.

Doi:

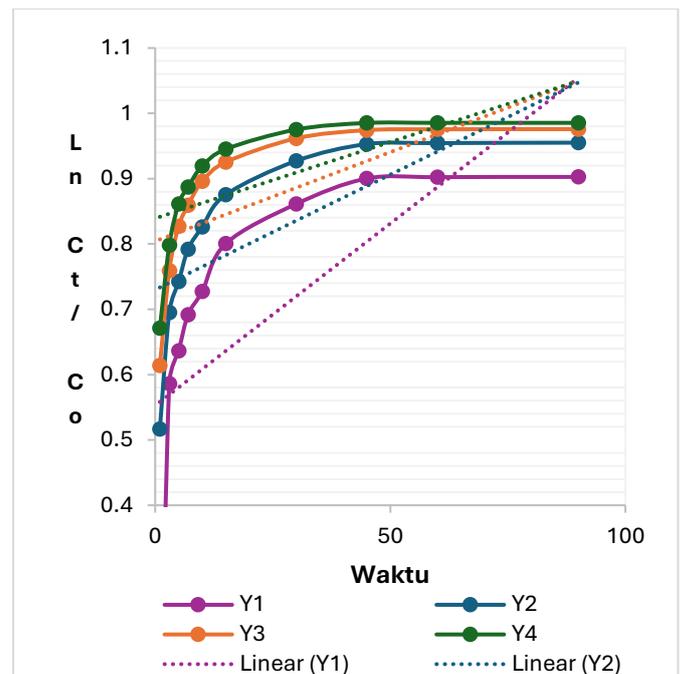


Gambar 3. 2 Grafik Persen Penyisihan Zat Organik Terlarut Pada Air Lindi TPA UNDIP Tembalang pada a) Zeolit Alam (ZA), b) Zeolit Teraktivasi, c) Zeolit Terpilar TiO_2 Var 3 tanpa UV, d) Zeolit Terpilar TiO_2 Var 3 Dengan UV

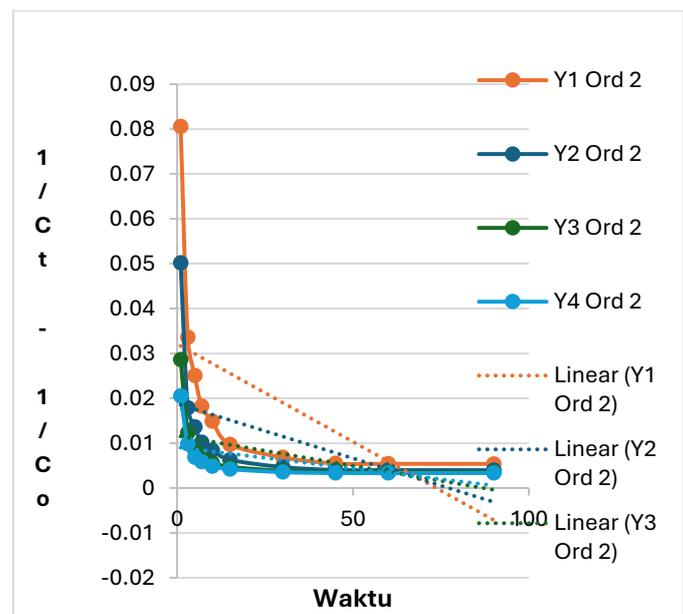
Pada Gambar 3.3 dapat dilihat hasil yang diperoleh ternyata jumlah zat organik terlarut pada air lindi dari TPA Kampus UNDIP Tembalang yang tersisihkan semakin meningkat mulai dari waktu kontak 1 menit hingga 45 menit kemudian konstan diiringi sedikit peningkatan hingga waktu kontak 90 menit. Semakin bertambah waktu kontak proses adsorpsi akan semakin meningkat. Hal ini dikarenakan semakin lama waktu kontak maka semakin banyak partikel-partikel lempung yang bertumbukan dan tercampur dengan zat organik terlarut pada air lindi dari TPA Kampus UNDIP Tembalang sehingga kemampuan adsorpsinya semakin meningkat. Namun hal ini hanya berlaku hingga waktu kontak 45 menit dan akan konstan yang cenderung meningkat namun hanya sedikit hingga waktu kontak 90 menit. Hal ini dikarenakan karena lapisan luar pada lempung telah jenuh sehingga kurang mampu mengadsorpsi organik terlarut pada air lindi dari TPA Kampus UNDIP Tembalang [25].

3.3. Order Reaksi Penyisihan Grafik Persen Penyisihan Zat Organik Terlarut Pada Air Lindi TPA UNDIP Tembalang

Hasil yang diperoleh pada Reaksi Penyisihan Grafik Persen Penyisihan Zat Organik Terlarut Pada Air Lindi TPA Kampus UNDIP Tembalang, diolah dengan menggunakan order 1 dan order 2, secara ringkas dapat digambarkan pada gambar 3.4 dan gambar 3.5 sebagai berikut:



Gambar 3.4: Penyisihan Zat Organik Terlarut Pada Air Lindi TPA Kampus UNDIP Tembalang Order 1



Gambar 3.5: Penyisihan Zat Organik Terlarut Pada Air Lindi TPA Kampus UNDIP Tembalang Order 2

Secara ringkas, hasil order reaksi yang diperoleh terhadap penyisihan Zat Organik Terlarut Pada Air Lindi TPA UNDIP Tembalang dapat dilihat seperti pada tabel 3.3

Doi:

Tabel 3.3: Hasil Order Reaksi Penyisihan Zat Organik Terlarut Pada Air Lindi TPA UNDIP Tembalang

Order Reaksi	Tipe Adsorben/ Katalis	Konstanta Laju Reaksi	Koefesien Linieralitas
1	Zeolit Alam (ZA)	0,0023	0,4605
	Zeolit Alam Teraktivasi (ZAT)	0,0027	0,4746
	Zeolit Alam Teraktivasi Di doping TiO ₂ Tanpa Sinar UV	0,0035	0,5413
	Zeolit Alam Teraktivasi Di doping TiO ₂ Dengan Sinar UV	0,0056	0,3742
2	Zeolit Alam (ZA)	0,0004	0,3136
	Zeolit Alam Teraktivasi (ZAT)	0,0002	0,2639
	Zeolit Alam Teraktivasi Di doping TiO ₂ Tanpa Sinar UV	0,0001	0,2658
	Zeolit Alam Teraktivasi Di doping TiO ₂ Dengan Sinar UV	0,000009	0,28

Berdasarkan Tabel 3.3 terlihat Koefisien Linieralitas yang paling besar adalah order 1. Sehingga proses penyisihan zat organik yang terlarut diperoleh pada Air lindi TPA UNDIP Tembalang sangat dimungkinkan order 1. Dari data yang diperoleh tampak harga Konstanta laju reaksi yang berbeda-beda, antara sesama order reaksi pada adsorben yang berbeda. Hal ini menunjukkan kemampuan relatif dari suatu adsorben dalam mengadsorpsi adsorbat. Semakin besar nilai koefisien laju reaksi (k), maka semakin besar kemampuan suatu adsorben dalam mengadsorpsi, begitu juga untuk kekuatan interaksi antara adsorben dan adsorbat dapat dilihat dari nilai k tersebut [26]. Koefisien Linieralitas/ Regresi linieritas (R^2) merupakan karakteristik yang penting terkait dengan penentuan order reaksi penyisihan. Pada penelitian ini diperoleh R^2 sebesar 0,5413 pada order 1, sedangkan pada order 2 nilai R^2 sebesar 0,3136. Nilai R^2 menunjukkan jenis order penyisihan yang baik jika $0 < R^2 < 1$ [27], maka dapat disimpulkan tipe reaksi penyisihan pada Air lindi

TPA UNDIP Tembalang yang terjadi sangat dimungkinkan order 1.

Berdasarkan Gambar 3. 5 Grafik Persen Penyisihan Zat Organik Terlarut Pada Air Lindi TPA UNDIP Tembalang diperoleh kurva yang cukup berbeda signifikan antara persen penyisihan terhadap lempung terpillar TiO₂ di ruang reaksi dan dengan disinari UV. Terjadi peningkatan persen terdekolorisasi semakin meningkatnya waktu, karena semakin besar waktu kontak antara katalis dan zat warna, yang kemudian konstan. Terjadi peningkatan dibebberapa titik waktu kontak antara dekolorisasi yang dilakukan di ruang gelap dan di sinari UV. Hal ini terjadi karena TiO₂ dapat berfungsi sebagai fotokatalis yaitu mempercepat reaksi yang diindikasikan oleh cahaya karena mempunyai struktur semikonduktor yaitu struktur elektronik yang dikarakterisasi oleh adanya pita valensi (valence band; vb) terisi dan pita konduksi (conduction band; cb) yang kosong. Kedua pita tersebut dipisahkan oleh energi celah pita (band gap energy; Eg) [28]. Hole (h^*), radikal hidroksil (*OH) dan ion superoksida (O_2^*) yang terbentuk dapat menyisihkan sebagian besar molekul organik, dalam penelitian ini berupa zat organik terlarut pada air lindi TPA kampus UNDIP Tembalang. Pada zeolit alam dan ketiga zeolit yang sudah terktivasi, zeolit yang sudah terktivasi dan didoping TiO₂ tanpa penyinaran UV dan zeolit yang sudah terktivasi dan didoping TiO₂ dengan penyinaran UV terjadi perbedaan penyisihan yang sangat kuat. Hal ini disebabkan, ketika foton dari UV mengenai permukaan TiO₂, akan terjadi eksitasi elektron dari pita konduksi membentuk *hole* bermuatan positif pada pita valensi. Elektron pada pita konduksi dan *hole* pada pita valensi yang terbentuk mengalami migrasi ke permukaan TiO₂ dimana terjadi adsorpsi O₂ dan atau molekul OH⁻/H₂O membentuk oksigen reaktif seperti radikal O₂^{*}, HOO^{*} dan OH^{*}, yang menyerang molekul zat organik terlarut dan menyebabkan terjadinya proses penyisihan [29].

Pada TiO₂ tinggi, molekul zat organik yang terjerap pada partikel TiO₂ yang diduga menstimulasi degradasi fotokatalitik. Mekanisme ini menyebabkan terjadinya interaksi hanya antara TiO₂ dan zat organik terlarut, selain jika terjadi interaksi dengan lempung. Hal ini, yang diduga menghasilkan nilai persen penyisihan zat organik terlarut pada air lindi TPA Kampus UNDIP Tembalang pada lempung terpillar TiO₂ dengan penyinaran UV lebih tinggi dibandingkan tanpa penyinaran.

4. Kesimpulan

1. Diperoleh lempung teraktivasi dan lempung terpillar TiO₂, ditandai dengan menurunnya rasio (SiOH)/(SiOTi) dan meningkatnya *basal spacing*.
2. Diperoleh bahwa pada sintesis lempung terpillar variasi 3 (TiCl₄ : Etanol = 3,5 mL : 157,5 mL) mengalami penurunan (SiOH)/(SiOTi) dari 0,6773 menjadi 0,5735 dan peningkatan *basal spacing* dari 19.1868 Å pada $2\theta = 4.6^\circ$ menjadi 29.1673 Å pada $2\theta = 3.03^\circ$.

Doi:

3. Diketahui kemampuan penyisihan zat organik terlarut pada air lindi TPA Kampus UNDIP Tembalang semakin meningkat pada lempung teraktivasi, pada lempung terpillar TiO₂, serta dengan penyinaran lampu UV dan waktu kontak optimum pada 45 menit

Ucapan Terimakasih

Penulis mengucapkan terima kasih kepada Laboratorium Kimia Anorganik Departemen Kimia FSM UNDIP yang telah menyediakan fasilitas penelitian.

Daftar Pustaka

1. T. E. Triandhani, T. Taslimah, and S. Sriyanti, "Pilarisasi Lempung Dengan Al/Cr sebagai Adsorben Minyak Sisa Pakai," *Greensphere: Journal of Environmental Chemistry*, vol. 1, no. 1, pp. 13-18, May. 2021. <https://doi.org/10.14710/gjec.2021.10781>.
2. Bhattacharyya, K. G., SenGupta, S. dan Sarma, G. K., 2014, Interactions of the Dye, Rhodamine B with Kaolinite and Montmorillonite in Water. *Applied Clay Science* **99**: 7-17
3. Yuan, P., Annabi-Bergaya, F., Tao, Q., Fan, M., Liu, Z., Zhu, J., He, H. dan Chen, T., 2008, A Combined Study by Xrd, Ftir, Tg and Hrtem on the Structure of Delaminated Fe-Intercalated/Pillared Clay. *Journal of Colloid and Interface Science* **324**(1): 142-149.
4. Schneider, J., Matsuoka, M., Takeuchi, M., Zhang, J., Horiuchi, Y., Anpo, M. dan Bahnemann, D. W., 2014, Understanding Tio2 Photocatalysis: Mechanisms and Materials. *Chemical reviews* **114**(19): 9919-9986.
5. Barbosa, L. V., Marçal, L., Nassar, E. J., Calefi, P. S., Vicente, M. A., Trujillano, R., Rives, V., Gil, A., Korili, S. A. dan Ciuffi, K. J., 2015, Kaolinite-Titanium Oxide Nanocomposites Prepared Via Sol-Gel as Heterogeneous Photocatalysts for Dyes Degradation. *Catalysis Today* **246**: 133-142.
6. Nakata, K. dan Fujishima, A., 2012, Tio 2 Photocatalysis: Design and Applications. *Journal of Photochemistry and Photobiology C: Photochemistry Reviews* **13**(3): 169-189.
7. Renou S, Givaudan GJ, Poulain S, Dirassouyan F, Moulin P (2008). Landfill leachate treatment: Review and opportunity. *Journal of Hazardous Materials*, 150: 468-493
8. Sanphoti N, Towprayoon S, Chairprasert P, Nopharatana A (2006). The effects of leachate recirculation with supplemental water addition on methane production and waste decomposition in a simulated tropical landfill. *Journal of Environmental Management*, 81: 27- 35.
9. Li HS, Zhou SQ, Sun YB, Feng P, Li JD (2009). Advanced treatment of landfill leachate by a new combination process in a full-scale plant. *Journal of Hazardous Materials*, 172(1): 408-415.
10. Chiang LC, Chang JE, Wen TC (1995). Indirect oxidation effect in electrochemical oxidation treatment of landfill leachate. *Water Research*, 29 (2): 671-678..
11. Kang YW, Hwang KY (2000). Effects of reaction conditions on the oxidation efficiency in the Fenton process. *Water Research*, 34(10): 2786-2790.
12. Dollerer J, Wilderer PA (1996). Biological treatment of leachates from hazardous waste landfills using sbbr technology. *Water Science and Technology*, 34 (7-8): 437-444
13. Kang YW, Hwang KY (2000). Effects of reaction conditions on the oxidation efficiency in the Fenton process. *Water Research*, 34(10): 2786-2790.
14. Mohajeri S, Aziz HA, Isa MH, Zahed MA, Adlan MN (2010). Statistical optimization of process parameters for landfill leachate treatment using electro-Fenton technique. *Journal of Hazardous Materials*, 176: 749-758.
15. Piatkiewicz W, Biemacka E, Suchecka T (2001). A polish study: Treating landfill leachate with membranes. *Filtration and Separation*, 38: 22-26.
16. Trebouet D, Schlumpf JP, Jaouen P, Quemeneur F (2001). Stabilized landfill leachate treatment by combined physicochemical-nanofiltration processes. *Water Research*, 35(12): 2935-2942.
17. Imai A, Iwami N, Matsushige K, Inamori Y, Sudo R (1993). Removal of refractory organics and nitrogen from landfill leachate by the microorganism-attached activated carbon fluidized bed process. *Water Research*, 27: 143-145.
18. Irdemez S, Demircioglu N, Yildiz YS, Bingul Z (2006). The effects of current density and phosphate concentration on phosphate removal from wastewater by elctro coagulation using aluminum and iron plate electrodes. *Separation and Purification Technology*, 52: 218-223.
19. Darmawan, A., Suseno, A. dan Agus Purnomo, S., 2005, Sintesis Lempung Terpillar Titania. *Jurnal Kimia Sains dan Aplikasi* **8**(3).
20. Gil, A., Assis, F., Albeniz, S. dan Korili, S., 2011, Removal of Dyes from Wastewaters by Adsorption on Pillared Clays. *Chemical Engineering Journal* **168**(3): 1032-1040.
21. González-Rodríguez, B., Trujillano, R., Rives, V., Vicente, M., Gil, A. dan Korili, S., 2015, Structural, Textural and Acidic Properties of Cu-, Fe-and Cr-Doped Ti-Pillared Montmorillonites. *Applied Clay Science* **118**: 124-130.
22. Innocenzi, P., 2003, Infrared Spectroscopy of Sol-Gel Derived Silica-Based Films: A Spectra-Microstructure Overview. *Journal of Non-Crystalline Solids* **316**(2-3): 309-319.

Doi:

23. Okoye, I. dan Obi, C., 2011, Synthesis and Characterization of Titanium Pillared Bentonite Clay Mineral. *Research Journal of Applied Sciences* **6**(7): 443-446.
24. Yahiaoui, A., Belbachir, M. dan Hachemaoui, A., 2003, Cationic Polymerization of 1, 2-Epoxypropane by an Acid Exchanged Montmorillonite Clay in the Presence of Ethylene Glycol. *International Journal of Molecular Sciences* **4**(11): 572-585.
25. Agnestisia, R., Komari, N. dan Sunardi, S., 2016, Adsorpsi Fosfat (Po43-) Menggunakan Selulosa Purun Tikus (*Eleocharis Dulcis*) Termodifikasi Heksadesiltrimetilammonium Bromida (Hdtmabr). *Jurnal Sains dan Terapan Kimia* **6**(1): 71-86.
26. Delle Site, A., 2001, Factors Affecting Sorption of Organic Compounds in Natural Sorbent/Water Systems and Sorption Coefficients for Selected Pollutants. A Review. *Journal of Physical and Chemical Reference Data* **30**(1): 187-439.
27. Auta, M. dan Hameed, B., 2013, Acid Modified Local Clay Beads as Effective Low-Cost Adsorbent for Dynamic Adsorption of Methylene Blue. *Journal of Industrial and Engineering Chemistry* **19**(4): 1153-1161.
28. Wang, R., Sakai, N., Fujishima, A., Watanabe, T. dan Hashimoto, K., 1999, Studies of Surface Wettability Conversion on Tio2 Single-Crystal Surfaces. *The Journal of Physical Chemistry B* **103**(12): 2188-2194.
29. Gupta, A., Pal, A. dan Sahoo, C., 2006, Photocatalytic Degradation of a Mixture of Crystal Violet (Basic Violet 3) and Methyl Red Dye in Aqueous Suspensions Using Ag+ Doped Tio2. *Dyes and Pigments* **69**(3): 224-232.