



Adsorpsi Fenol dengan TiO₂/zeolit *artificial* Berbahan Dasar Sekam Padi dan Limbah Kertas

Juwita Kesumaningrum^a, Nor Basid Adiwibawa Prasetya^b, Ahmad Suseno^{a*}

^a Physical Chemistry Laboratory, Chemistry Department, Faculty of Sciences and Mathematics, Diponegoro University, Jalan Prof. Soedarto, Tembalang, Semarang

^b Analytical Chemistry Laboratory, Chemistry Department, Faculty of Sciences and Mathematics, Diponegoro University, Jalan Prof. Soedarto, Tembalang, Semarang

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

Article Info

Keywords:
TiO₂/Artificial
Zeolite, Phenol
Adsorption,
Langmuir Isotherm

Kata kunci:
TiO₂/zeolit *artificial*,
Adsorpsi Fenol,
Isoterm Langmuir

Abstract

The industry produces phenol wastewater that pollutes the environment. Phenols are harmful organic compounds that have high toxicity properties that disrupt aquatic ecosystems and human health. To overcome the problem of environmental pollution, the adsorption method using TiO₂/artificial zeolite as adsorbent has been conducted. The study aims were to synthesize TiO₂/artificial zeolite and to test phenol adsorption by varying phenol adsorption time for 1, 3, 6, 12, and 24 hours and phenol concentration 10, 30, 50, 70, and 90 ppm to TiO₂/artificial zeolite. The residual phenol was reacted with 4-aminoantipirin reagent and then analyzed using a UV-Vis 1601 Spectrophotometer. TiO₂/artificial zeolite could be synthesized from rice husk and paper waste. The phenol adsorption by TiO₂/artificial zeolite reduced phenol concentration from 50 ppm to 49.3 ppm for 6 hours. The maximum capacity of phenol adsorption using Langmuir isotherm equation obtained by TiO₂/artificial zeolite with UV light irradiation was 2.445 mg/g while for TiO₂/artificial zeolite without UV light irradiation was 1.256 mg / g.

Abstrak

Industri menghasilkan limbah cair fenol yang mencemari lingkungan. Fenol merupakan senyawa organik berbahaya yang memiliki sifat toksisitas tinggi sehingga mengganggu ekosistem akuatik dan kesehatan manusia. Untuk mengatasi masalah pencemaran lingkungan dilakukan metode adsorpsi dengan memanfaatkan TiO₂/zeolit *artificial* sebagai adsorben. Penelitian bertujuan untuk sintesis TiO₂/zeolit *artificial* dan uji adsorpsi fenol dengan memvariasikan waktu adsorpsi fenol selama 1, 3, 6, 12, dan 24 jam serta konsentrasi fenol 10, 30, 50, 70, dan 90 ppm terhadap TiO₂/zeolit *artificial*. Fenol sisa direaksikan dengan pereaksi 4-aminoantipirin kemudian dianalisis menggunakan Spektrofotometer UV-Vis 1601. TiO₂/zeolit *artificial* dapat disintesis dari sekam padi dan limbah kertas. Adsorpsi fenol dengan TiO₂/zeolit *artificial* terjadi pengurangan konsentrasi fenol dari 50 ppm menjadi 49,3 ppm selama 6 jam. Kapasitas maksimum adsorpsi fenol dengan menggunakan persamaan isoterm Langmuir diperoleh TiO₂/zeolit *artificial* dengan peninaran lampu UV sebesar 2,445 mg/g dan TiO₂/zeolit *artificial* tanpa peninaran lampu UV sebesar 1,256 mg/g.

1. Pendahuluan

Pesatnya perkembangan industri sekarang ini telah menyebabkan permasalahan lingkungan, diantaranya dengan bertambahnya limbah berbahaya yang

dihasilkan. Beberapa industri yang cukup berpotensi dalam mencemari lingkungan adalah industri penyulingan minyak bumi, gas, farmasi, dan industri rumah tangga yang menghasilkan limbah cair fenol [1]. Fenol merupakan senyawa organik berbahaya yang

memiliki sifat toksisitas tinggi dalam air [2], yang menyebabkan gangguan pada ekosistem akuatik dan kesehatan manusia. Daya racun fenol dapat menyerang susunan syaraf pusat dan organ tubuh seperti kerusakan ginjal dan hati, rendahnya tekanan darah, hingga kematian. Oleh karena itu, untuk mengatasi masalah pencemaran lingkungan perlu adanya solusi, salah satunya metode adsorpsi dengan memanfaatkan zeolit sintetik sebagai adsorben [3].

Zeolit *artificial* merupakan zeolit sintetik dengan material yang menyerupai zeolit, baik pada susunan struktur maupun sifat. Zeolit sintetik dapat dibuat dengan bahan dasar limbah yang mengandung SiO_2 dan Al_2O_3 seperti sekam padi dan limbah padat industri kertas [4]. Limbah padat kertas memiliki komposisi 26,35 % Al_2O_3 dan 55,25 % SiO_2 . Selain itu, sintesis zeolit dapat juga dilakukan dengan penambahan bahan lain sebagai sumber silika. Wajima *dkk.* [5] telah melakukan sintesis zeolit dari limbah kertas dengan penambahan diatomit sebesar silika 92,8 % dan alumina 3,4 %. Jumlah kandungan SiO_2 dan Al_2O_3 dari abu sekam padi dan limbah padat yang tinggi berpotensi sebagai bahan pembuatan zeolit sintetik.

Pemanfaatan zeolit sebagai adsorben memiliki keterbatasan, karena hanya mampu memindahkan limbah yang diserap. Akibatnya, zeolit memiliki masa aktif yang pendek karena telah jenuh setelah menyerap limbah. Salah satu cara untuk memaksimalkan masa aktif pemanfaatan zeolit yaitu memodifikasi zeolit dengan senyawa fotokatalis TiO_2 . Modifikasi zeolit *artificial* dengan penambahan senyawa TiO_2 . Senyawa TiO_2 mampu mendegradasi senyawa yang diserap oleh zeolit, sehingga zeolit tersebut memiliki masa aktif yang lebih lama karena limbah yang diserap akan diproses lebih lanjut dengan proses degradasi. Keberadaan TiO_2 pada struktur kerangka zeolit mampu mendegradasi polutan organik menjadi senyawa yang tidak berbahaya seperti CO_2 dan H_2O , lebih hemat pemakaian bahan kimia dan energinya [6]. Selain itu, penggunaan TiO_2 sebagai fotokatalis memiliki kelebihan pada aktivitas fotokatalis yang tinggi, mempunyai kestabilan kimia dan ketahanan fotokorosi yang baik dalam semua kondisi reaksi. Pemanfaatan fotokatalis TiO_2 mampu meningkatkan degradasi limbah organik sebesar 30 % [7] dan pada limbah organik yang berbeda penggunaan fotokatalis TiO_2 mampu mendegradasi limbah organik mencapai 99 % [8].

Penelitian yang dilakukan meliputi tahap sintesis zeolit *artificial* dan tahap modifikasi pada zeolit *artificial* dengan penambahan TiO_2 pada kondisi optimum. Dalam penelitian ini dilakukan uji adsorpsi fenol terhadap TiO_2 /zeolit *artificial*. Uji adsorpsi fenol yang dilakukan meliputi variasi waktu adsorpsi dan konsentrasi fenol. Hasil variasi konsentrasi yang dilakukan diharapkan dapat menentukan kapasitas adsorpsi maksimum fenol pada TiO_2 /zeolit *artificial* dengan menggunakan persamaan isotherm *Langmuir*.

2. Metodologi

Alat & Bahan

Penelitian ini telah dilakukan sintesis zeolit *artificial* berbahan dasar limbah kertas dan sekam padi dan modifikasi pada zeolit *artificial* dengan penambahan TiO_2 . Penelitian ini melakukan uji adsorpsi fenol terhadap TiO_2 /zeolit *artificial* pada kondisi optimum dengan variasi waktu adsorpsi dan variasi konsentrasi fenol. Penentuan konsentrasi fenol sisa yang tidak teradsorpsi dianalisis menggunakan spektrofotometer UV-Vis. Alat dan bahan yang digunakan adalah neraca analitik (Kern 870), furnace, ayakan -60/+100 mesh, seperangkat alat refluks, spatula, gelas arjoli, mortar, peralatan gelas standar laboratorium, pipet tetes, pipet ukur, corong pemisah, corong gelas, kertas saring *Whatman 42*, reaktor Fotokatalis yang dilengkapi dengan lampu UV λ 254nm, dan spektrofotometer UV-VIS 1601. Limbah kertas (PT. TPL Porsea), Sekam padi, larutan NaOH, bubuk TiO_2 , etanol, akuades, fenol, larutan NH_4OH , larutan buffer fosfat, 4-aminoantipirin, dan $\text{K}_3\text{Fe}(\text{CN})_6$.

Sintesis Zeolit TiO_2 /zeolit *artificial*

Proses diawali dengan pengabuan limbah kertas dan sekam padi dengan *furnace* pada temperatur 700°C selama 4 jam. Larutan NaOH 100 mL dengan konsentrasi 3 M dicampur dengan 10 g abu limbah dregs dan abu sekam padi 6,4 g ke dalam gelas beker 100 mL dan didiamkan selama 24 jam. Kemudian dimasukkan ke dalam labu leher tiga dengan pemanasan pada temperatur 90°C selama 5 jam. Selanjutnya sampel didiamkan sampai dingin kemudian fasa padatan disaring dari fasa cair menggunakan kertas *Whatman 42*. Produk padatan dicuci dengan akuades dan dilanjutkan dengan pendinginan dalam oven pada temperatur 60°C selama satu malam. Produk padatan yang telah kering dicampur dengan TiO_2 dengan massa 10 g produk padatan dan 0,5 g TiO_2 dalam larutan etanol 40 mL. Campuran di stirrer selama 3 jam, kemudian disaring. Endapan yang terbentuk dikeringkan dengan oven pada temperatur 90°C selama satu malam. Kemudian hasil dikalsinasi selama 3 jam pada temperatur 400°C .

Penentuan Panjang Gelombang Maksimum Larutan Fenol dengan Menggunakan Spektrofotometer UV-VIS

Penentuan panjang gelombang maksimum dalam penelitian ini ditentukan dari salah satu larutan standar fenol yang telah ditambah dengan 2,5 mL NH_4OH 0,5 M, larutan buffer fosfat dan direaksikan dengan 4-aminoantipirin serta $\text{K}_3\text{Fe}(\text{CN})_6$. Selanjutnya dilakukan pengukuran besar absorbansi pada salah satu larutan standar fenol pada berbagai panjang gelombang UV-Vis dengan interval λ 200-800nm, sehingga diperoleh panjang gelombang maksimum.

Uji Adsorpsi Fenol Menggunakan TiO_2 /zeolit *artificial* dengan Variasi Waktu Adsorpsi

Sebanyak 1 gram TiO_2 /zeolit *artificial* dimasukkan ke dalam erlenmeyer 100 mL yang berisi 25 mL fenol konsentrasi 50 ppm. Kemudian uji adsorpsi dilakukan dengan metode *batch* dengan berbagai waktu adsorpsi di dalam reaktor fotokatalis yang dilengkapi lampu UV.

Selanjutnya fenol yang tersisa disaring dan dimasukkan ke dalam gelas beker 100 mL. Kemudian sebanyak 9 mL fenol sisa ditambah larutan NH₄OH 0,5 M sebanyak 2,5 mL dan larutan buffer fosfat hingga pH 10. Pindahkan larutan tersebut ke dalam corong pemisah, tambahkan dengan larutan pereaksi 1 mL 4-aminoantipirin dan 1 mL K₃Fe(CN)₆. Selanjutnya lakukan analisis menggunakan spektrofotometer UV-Vis untuk mengetahui konsentrasi fenol yang tersisa. Pada penelitian ini waktu adsorpsi yang digunakan divariasikan pada 1, 3, 6, 12, dan 24 jam.

Uji Adsorpsi Fenol Menggunakan TiO₂/zeolit artificial dengan Variasi Konsentrasi Fenol

Sebanyak 1 gram TiO₂/zeolit artificial dimasukkan ke dalam masing-masing Erlenmeyer 100 mL yang terisi 25 mL fenol dengan berbagai konsentrasi fenol. Kemudian lakukan uji adsorpsi dengan metode batch selama waktu optimum dalam reaktor fotokatalis yang dilengkapi sebuah lampu UV dengan panjang gelombang 254 nm. Selanjutnya fenol sisa disaring, tempatkan pada gelas beker 100 mL. Fenol sisa sebanyak 9 mL ditambah dengan larutan NH₄OH 0,5 M sebanyak 2,5 mL dan larutan buffer fosfat hingga pH 10. Pindahkan larutan tersebut ke dalam corong pemisah dan tambahkan larutan pereaksi 1 mL 4-aminoantipirin dan 1 mL K₃Fe(CN)₆, kocok dan diamkan. Terakhir analisis larutan yang telah ditambahkan pereaksi menggunakan spektrofotometer UV-Vis untuk mengetahui konsentrasi fenol yang tersisa. Pada penelitian ini konsentrasi fenol yang digunakan divariasikan pada 10, 30, 50, 70 dan 90 ppm.

3. Hasil dan Pembahasan

Sintesis TiO₂/zeolit artificial

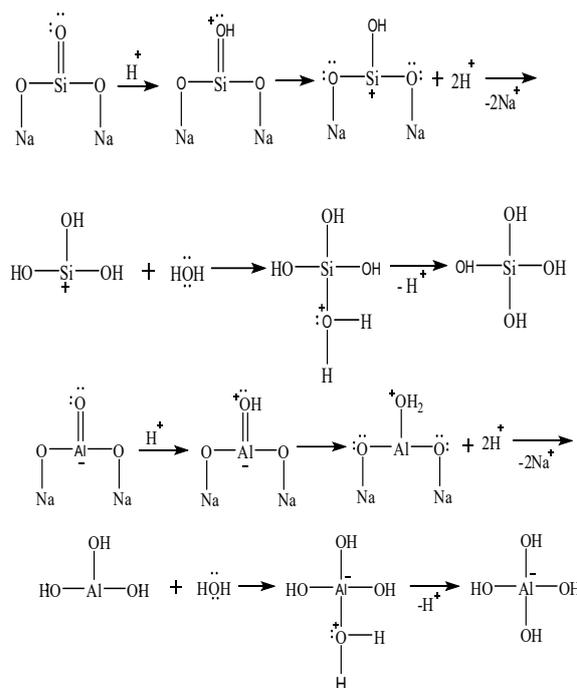
Sintesis TiO₂/zeolit artificial dilakukan melalui tahap sintesis dan modifikasi. Tahap sintesis zeolit artificial dilakukan metode refluks. Refluks merupakan proses pemanasan yang dilengkapi kondensor sehingga uap yang terbentuk dari pemanasan akan berubah menjadi cair karena mengalami pendinginan saat melewati kondensor sehingga senyawa yang ada tidak hilang akibat pemanasan. Bahan dasar yang digunakan dalam sintesis TiO₂/zeolit artificial yaitu limbah kertas (dregs) dan sekam padi. Dregs merupakan hasil sisa dari proses daur ulang lindi hitam dan lindi putih. Untuk mensintesis TiO₂/zeolit artificial dilakukan pengabuan limbah kertas dan sekam padi tetapi terlebih dahulu dikeringkan di bawah sinar matahari dengan tujuan untuk menghilangkan kadar yang tinggi. Setelah limbah kertas dan sekam padi kering kemudian dilakukan pengabuan melalui proses pembakaran dengan furnace pada temperatur 700°C selama 4 jam. Proses pembakaran limbah kertas dan sekam padi dengan furnace pada temperatur 700°C merupakan temperatur optimum dari pengabuan.

Penambahan natrium hidroksida dalam sintesis zeolit artificial berfungsi sebagai reaktan dalam proses pembentukan natrium silikat dan sebagai sumber ion hidroksi untuk melarutkan silika dan alumina.

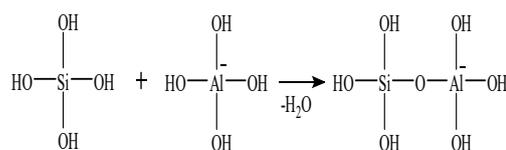
Reaksi pembentukan natrium silikat dan natrium aluminat yang terjadi menurut Ojha dkk. [9] adalah sebagai berikut:



Berdasarkan reaksi diatas, reaksi antara silika dan alumina dengan natrium hidroksida membentuk natrium silikat dan natrium aluminat yang dilanjutkan dengan reaksi pembentukan monomer-monomer bebas asam silikat dari natrium silikat dan natrium aluminat yang bereaksi dengan H₂O sehingga asam silikat akan larut dalam air. Reaksi yang terjadi sebagai berikut:



Kemudian gugus Si-OH dan Al-OH yang terbentuk akan bergabung sehingga membentuk struktur zeolit. Reaksi pembentukan zeolit yang terjadi ditunjukkan pada gambar berikut:



Proses sintesis zeolit dilakukan melalui metode refluks dengan prinsip pemanasan tanpa adanya senyawa yang hilang karena penguapan [10]. Proses refluks yang berlangsung pada proses sintesis zeolit akan mengalami kristalisasi dari sistem larutan. Tahap pembentukan kristal zeolit disebabkan adanya pemanasan yang menyebabkan struktur kristal mengalami penataan ulang struktur sehingga dapat terbentuk embrio inti kristal. Selanjutnya embrio inti kristal yang terbentuk dan larutan lewat jenuh terjadi kesetimbangan, kondisi ini disebut dengan keadaan metastabil. Keadaan metastabil merupakan tahap pertumbuhan kristal zeolit. Selain itu, pada proses pemanasan yang berlangsung, struktur kerangka aluminosilikat mulai terbentuk dan akan menjadi struktur 3 dimensi dari suatu zeolit. Zeolit yang didapat kemudian ditambahkan oksida fotokatalis TiO₂.

Pencampuran oksida fotokatalis TiO₂ pada zeolit *artificial* dilakukan dengan tujuan agar TiO₂ dapat terdispersi merata dalam pori zeolit *artificial*. Secara mekanisme proses sintering akan meningkatkan efektifitas oksida Ti sebagai katalis dengan luas permukaan spesifik dan meningkatkan stabilitas termal sehingga waktu hidup lebih lama.

Penentuan Panjang Gelombang Maksimum Larutan Fenol dengan Menggunakan Spektrofotometer UV-VIS

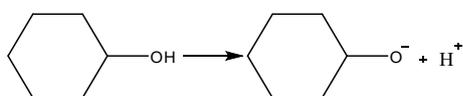
Penentuan panjang gelombang maksimum dilakukan untuk menentukan panjang gelombang yang akan digunakan untuk penentuan absorbansi selanjutnya. Pengukuran panjang gelombang maksimum dilakukan pada salah satu larutan standar fenol dengan berbagai konsentrasi yang kemudian ditambah dengan larutan NH₄OH, buffer fosfat, amino antipirin, dan kalium ferisianida (K₃Fe(CN)₆), sehingga terbentuk larutan berwarna kuning kemerahan dan dilanjutkan dengan mengukur panjang gelombang dengan spektrofotometer UV-Vis.

Berdasarkan hasil pengukuran, panjang gelombang maksimum larutan fenol adalah sebesar 456 nm. Panjang gelombang tersebut kemudian digunakan untuk setiap pengukuran absorbansi dan konsentrasi larutan fenol pada percobaan selanjutnya.

Uji Adsorpsi Fenol Menggunakan TiO₂/zeolit *artificial* dengan Variasi Waktu Adsorpsi

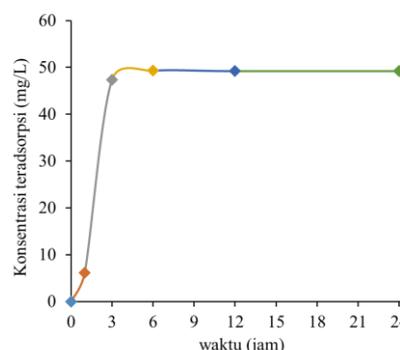
Penelitian ini bertujuan untuk menentukan waktu optimum adsorpsi fenol terhadap konsentrasi fenol 50 ppm yang teradsorpsi oleh TiO₂/zeolit *artificial* selama 1, 3, 6, 12 dan 24 jam. Uji adsorpsi dilakukan dalam reaktor fotokatalis yang dilengkapi sebuah lampu UV dan bagian sisi dalam reaktor fotokatalis dilengkapi cermin yang berfungsi untuk menjaga agar sinar radiasi dari lampu UV tidak terpancar keluar reaktor sehingga sinar UV dapat diserap secara optimal oleh katalis TiO₂ dalam zeolit *artificial*.

Penentuan kadar fenol sisa sebelum dianalisis dengan menggunakan spektrofotometer UV-Vis terlebih dahulu direaksikan dengan menggunakan pereaksi yang dapat menghasilkan senyawa berwarna dan mampu bereaksi dengan semua jenis senyawa fenol. Secara literatur penggunaan pereaksi 4-aminoantipirin merupakan salah satu pereaksi yang paling baik yang dapat digunakan untuk penentuan sekelompok senyawa fenol. Hal ini dikarenakan senyawa fenol tidak memiliki warna sehingga sulit ditentukan secara langsung. Penambahan larutan pereaksi 4-aminoantipirin pada fenol akan membentuk senyawa kompleks antipirin yang berwarna kuning kemerahan. Pengaturan pada pH 10 merupakan pH optimum untuk adsorpsi fenol. Dalam pH basa, fenol berada dalam keadaan ion fenolat dapat dilihat pada gambar 1 berikut ini:



Gambar 1. Pembentukan ion fenolat

Hasil adsorpsi fenol terhadap TiO₂/zeolit *artificial* dengan variasi waktu adsorpsi disajikan pada gambar 2 berikut ini:

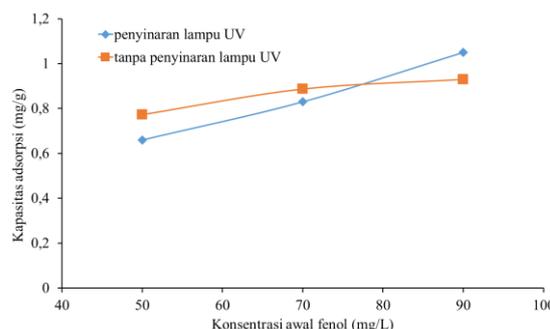


Gambar 2. Hubungan antara waktu adsorpsi dengan konsentrasi fenol yang teradsorpsi

Berdasarkan grafik diatas, menunjukkan bahwa pada waktu 1 dan 3 jam konsentrasi fenol yang teradsorpsi meningkat, namun pada perlakuan selanjutnya pada waktu 6 jam fenol yang teradsorpsi tidak menunjukkan peningkatan sehingga grafik menunjukkan konstan. Hal ini dikarenakan sisi aktif dari TiO₂/zeolit *artificial* untuk berikatan secara kovalen dengan fenol mencapai kondisi jenuh di mana TiO₂/zeolit *artificial* tidak dapat mengikat fenol lagi, sehingga waktu 6 jam merupakan waktu yang optimal yang dicapai dalam penelitian ini.

Uji Adsorpsi Fenol Menggunakan TiO₂/zeolit *artificial* dengan Variasi Konsentrasi Fenol

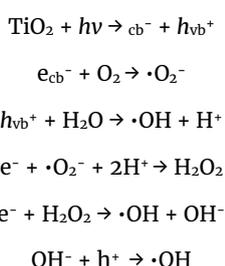
Proses adsorpsi fenol dengan TiO₂/zeolit *artificial* dilakukan dengan penyinaran dan tanpa penyinaran lampu UV. Hasil adsorpsi fenol dengan 1 gram TiO₂/zeolit *artificial* pada konsentrasi awal fenol 50, 70, dan 90 ppm dengan penyinaran dan tanpa penyinaran lampu UV selama 6 jam dapat dilihat pada gambar 3.



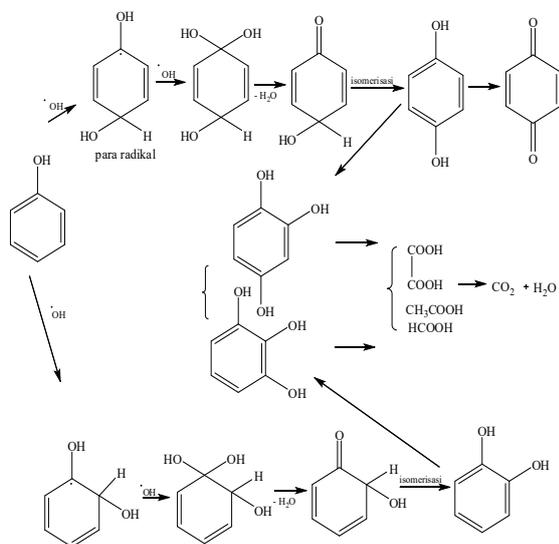
Gambar 3. Hubungan antara kapasitas adsorpsi dengan konsentrasi awal fenol dengan penyinaran dan tanpa penyinaran lampu UV

Gambar 3 menunjukkan bahwa proses adsorpsi fenol dengan TiO₂/zeolit *artificial* tanpa penyinaran lampu UV terjadi peningkatan kapasitas adsorpsi fenol pada konsentrasi awal 50 dan 70 ppm dari 0,773 mg/g dan 0,887 mg/g, namun pada 90 ppm relatif konstan dari kapasitas adsorpsi sebesar 0,930 mg/g. Hal ini karena tanpa penyinaran hanya terjadi reaksi adsorpsi sehingga dimungkinkan sisi aktif TiO₂/zeolit *artificial* sudah jenuh oleh fenol yang teradsorpsi, sehingga dengan kenaikan

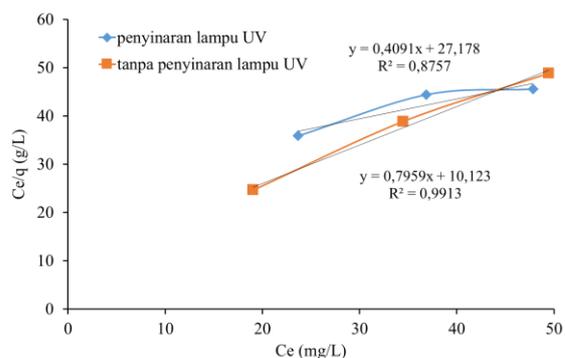
konsentrasi awal 90 ppm tidak meningkatkan kapasitas adsorpsi. Sedangkan dengan penyinaran lampu UV, proses kapasitas adsorpsi fenol mengalami peningkatan dari konsentrasi 50, 70, dan 90 ppm dengan kapasitas adsorpsi sebesar 0,66 mg/g, 0,83 mg/g, dan 1,05 mg/g. Hal ini terjadi karena dengan adanya penyinaran lampu UV terjadi reaksi fotodegradasi fenol yang menyebabkan katalis TiO₂ pada zeolit *artificial* mampu meningkatkan kinerja TiO₂/zeolit *artificial*. Selama penyinaran lampu uv akan terjadi loncatan elektron dari pita valensi ke pita konduksi pada fotokatalis TiO₂. Loncatan elektron ini menyebabkan timbulnya *hole* (lubang elektron) di pita valensi yang dapat berinteraksi dengan pelarut (air) membentuk radikal ·OH. Radikal ·OH merupakan oksidator kuat bersifat aktif dan dapat mendegradasi senyawa organik contohnya senyawa fenol. Proses pembentukan radikal ·OH dan elektron dapat ditunjukkan dengan reaksi berikut ini:



Reaksi fotodegradasi fenol yang terjadi adalah sebagai berikut [11]:



Dengan demikian disimpulkan bahwa dengan adanya TiO₂/zeolit *artificial* serta penyinaran lampu UV diperoleh hasil yang lebih efektif dalam mengadsorpsi dan mendegradasi senyawa fenol.



Gambar 4. Isoterm adsorpsi fenol dengan TiO₂/zeolit *artificial* menggunakan penyinaran dan tanpa penyinaran lampu UV

Gambar 4 menunjukkan data hasil dari perhitungan isoterm adsorpsi *Langmuir* untuk menentukan kapasitas adsorpsi maksimum diperoleh harga kapasitas adsorpsi maksimum TiO₂/zeolit *artificial* dalam mengadsorpsi fenol dengan penyinaran UV sebesar 2,445 mg/g sedangkan tanpa penyinaran UV sebesar 1,256 mg/g.

4. Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian yang dilakukan di atas dapat disimpulkan, bahwa TiO₂/zeolit *artificial* dapat disintesis dari sekam padi dan limbah kertas. Uji adsorpsi fenol pada TiO₂/zeolit *artificial* mampu mengadsorpsi fenol selama 6 jam dengan konsentrasi awal fenol 50 ppm. Kapasitas adsorpsi maksimum fenol pada TiO₂/zeolit *artificial* dengan penyinaran lampu UV sebesar 2,445 mg/g sedangkan tanpa penyinaran lampu UV sebesar 1,256 mg/g.

5. Daftar Pustaka

- [1] Chwei-Huann Chiou, Ruey-Shin Juang, Photocatalytic degradation of phenol in aqueous solutions by Pr-doped TiO₂ nanoparticles, *Journal of Hazardous Materials*, 149, 1, (2007) 1-7 <http://dx.doi.org/10.1016/j.jhazmat.2007.03.035>
- [2] Reyad Awwad Shawabkeh, Omar A Khashman, Gasan I Bisharat, Photocatalytic degradation of phenol using Fe-TiO₂ by different illumination sources, *International Journal of Chemistry*, 2, 2, (2010) 10 <http://dx.doi.org/10.5539/ijc.v2n2p10>
- [3] Setijo Bismo Slamet, Ahmad Firdaus Fasa, Abdul Jabbar, Ade Putera, Performance Test of a Novel Tubular V-Collector for Phenol Removal from Aqueous Solutions over TiO₂-Activated Carbon Composites, *World Applied Sciences Journal*, 8, 6, (2010) 672-679
- [4] Carlos A Rios, Craig D Williams, Martin J Maple, Synthesis of Zeolites and Zeotypes by Hydrothermal Transformation of Kaolinite and Metakaolinite, *Bistua: Revista de la Facultad de Ciencias Básicas*, 5, 1, (2007)
- [5] Takaaki Wajima, Mioko Haga, Keiko Kuzawa, Hiroji Ishimoto, Osamu Tamada, Kazuhiko Ito, Takashi Nishiyama, Robert T. Downs, John F. Rakovan, Zeolite synthesis from paper sludge ash at low temperature (90°C) with addition of diatomite, *Journal of Hazardous Materials*, 132, 2, (2006) 244-252 <http://dx.doi.org/10.1016/j.jhazmat.2005.09.045>

- [6] Saber Ahmed, M. G. Rasul, Wayde N. Martens, Richard Brown, M. A. Hashib, Advances in Heterogeneous Photocatalytic Degradation of Phenols and Dyes in Wastewater: A Review, *Water, Air, & Soil Pollution*, 215, 1, (2011) 3-29 <http://dx.doi.org/10.1007/s11270-010-0456-3>
- [7] Slamet Slamet, R Arbianti, E Marlina, Pengolahan Limbah Cr (VI) dan Fenol Dengan Fotokatalis Serbuk TiO₂ Dan CuO/TiO₂, *REAKTOR*, 11, 2, (2007) 78-85
- [8] Karna Wijaya, Iqmal Tahir, Nanik Haryanti, Synthesis Of Fe₂O₃-Montmorillonite And Its Application As A Photocatalyst For Degradation Of Congo Red Dye, *Indonesian Journal of Chemistry*, 5, 1, (2010) 41-47
- [9] Keka Ojha, Narayan C Pradhan, Amar Nath Samanta, Zeolite from fly ash: synthesis and characterization, *Bulletin of Materials Science*, 27, 6, (2004) 555-564
- [10] P Espeel, R Parton, H Toufar, J Martens, W Hölderich, P Jacobs, J Weitkamp, L Puppe, Catalysis and Zeolite: Fundamentals and Applications, in, Springer, Berlin, 1999.
- [11] Yongjun Shen, Lecheng Lei, Xingwang Zhang, Minghua Zhou, Yi Zhang, Effect of various gases and chemical catalysts on phenol degradation pathways by pulsed electrical discharges, *Journal of Hazardous Materials*, 150, 3, (2008) 713-722 <http://dx.doi.org/10.1016/j.jhazmat.2007.05.024>