

PENGOLAHAN LIMBAH LOGAM BERAT INDUSTRI TEKSTIL MENGUNAKAN FOTOKATALIS TiO_2 /ARANG AKTIF

Kapti Riyani, Tien Setyaningtyas, Roy Andreas
Prodi Kimia MIPA Fakultas Sains dan Teknik UNSOED

ABSTRACT

Study about the use of active charcoal rice straws (AAJP) was done in order to decrease heavy metal ion on textile waste water by using photocatalyst AAJP/ TiO_2 . Rice straws were gained from the Banyumas Regency and samples textile waste water from one of textile industry in Pemalang. This study was begun by the making of active charcoal from the rice straws, and then the modification of photocatalyst AAJP/ TiO_2 was done with the comparison 1:99, 2:98, 3:97, 4:96, 5:95. The test of heavy metal ion photoreduction was done with some parameters such as weight comparison (1:99, 2:98, 3:97, 4:96, 5:95), pH effect (2, 5, 7, 9, 13) and the effect of ray source (sun light and the UV lamp). Analysis of photocatalyst material used SEM and heavy metal ion concentration used AAS. Results show that optimum photocatalyst activity in weight comparison AAJP_{300°C} / TiO_2 (1:99) with decrease concentration was 65.02% for heavy metal ion, mean while AAJP_{700°C} / TiO_2 (3:97) with decreased concentration of heavy metal ion is 94.50%. Optimal process for heavy metal ion reduction occur at pH 2 with decreased concentration of heavy metal ion for AAJP_{300°C} / TiO_2 (1:99) is 99.87% and for AAJP_{700°C} / TiO_2 (3:97) is 100%. The source of UV lamp was good for heavy metal ion photoreduction (AAJP_{300°C} / TiO_2 (1:99) was 99.87% and AAJP_{700°C} / TiO_2 (3:97) was 100%)

Keyword : photocatalyst, TiO_2 , active charcoal, heavy metal ion

PENDAHULUAN

Perkembangan industri tekstil di daerah Jawa Tengah telah maju dengan pesat. Dampak negatif dari pembangunan industri tekstil tersebut terutama dari limbah proses pencelupan dimana mengandung zat warna dan logam berat seperti Cd, Cr Pb, As, Cu dan Zn. Limbah tersebut merupakan sumber pencemaran lingkungan apabila air limbahnya langsung dibuang ke selokan atau sungai tanpa diolah terlebih dahulu. Air selokan menjadi berwarna dan mengubah kualitas air selokan atau air sungai sehingga tidak sesuai peruntukannya. Oleh karena itu,

usaha untuk mengatasi masalah tersebut harus dilakukan sedini mungkin.

Teknologi untuk pengolahan limbah ion logam berat dapat dilakukan menggunakan titanium dioksida melalui proses fotoreduksi ion logam berat menjadi logamnya sehingga lebih mudah dipisahkan dari perairan. Aktivitas fotokatalisis dari TiO_2 dapat ditingkatkan dengan memodifikasi fotokatalis menggunakan arang aktif (Hilal *et. al.*, 2007) yang berfungsi sebagai adsorbent polutan sehingga polutan dapat lebih mudah kontak dengan fotokatalis, dengan semakin mudah polutan kontak dengan TiO_2

maka polutan semakin mudah didegradasi oleh fotokatalis TiO_2 .

Indonesia, terutama Jawa Tengah merupakan negara penghasil beras. Menurut Badan Bimas Ketahanan Pangan Jawa Tengah, produksi padi di Jawa Tengah pada tahun 2005 mencapai 2.191.258 ton. Pada proses penggilingan padi akan dihasilkan limbah yaitu jerami padi. Jerami padi saat ini kurang banyak dimanfaatkan. Kandungan selulosa dan silika yang tinggi pada jerami padi dapat dimanfaatkan sebagai bahan baku arang aktif. Arang aktif yang dihasilkan dari jerami padi dapat dimanfaatkan untuk memodifikasi fotokatalis TiO_2 untuk proses fotoreduksi ion logam berat menjadi logamnya sehingga lebih mudah dipisahkan dari perairan dan dapat dimanfaatkan kembali. Dengan adanya arang aktif pada fotokatalis TiO_2 maka proses fotoreduksi akan semakin efisien karena aktivitas fotokatalis akan meningkat.

Ada beberapa hal yang mempengaruhi aktivitas fotoreduksi ion logam berat menggunakan katalis AAJP/ TiO_2 , yaitu perbandingan berat arang aktif dengan TiO_2 , konsentrasi senyawa organik, pH dari medium, serta sumber sinar yang digunakan (Dingwang, 1999 dan Nguyen, 2003).

METODE PENELITIAN

Bahan dan Alat

Jerami padi diambil dari daerah Banyumas, limbah tekstil sebelum diolah atau sebelum masuk ke badan perairan diambil dari PT. Candi Mekar, Pemalang, TiO_2 , HNO_3 , Aquademin.

Prosedur Kerja

Pembuatan arang aktif jerami padi (AAJP)

Jerami padi dikeringkan pada suhu 105°C selama 24 jam pada oven untuk menghilangkan kandungan air

sampai berat konstan. Setelah itu dilakukan proses aktivasi secara termal. Sampel yang telah dikeringkan diaktivasi pada furnace dengan suhu 300°C dan 700°C selama 30 menit yang diikuti dengan penumbukan dan pengayakan dengan ukuran partikel kurang dari 100 mesh. Arang aktif yang dihasilkan dari jerami padi dengan proses aktivasi termal tersebut diberi simbol AAJP300 dan AAJP700.

Pembuatan modifikasi fotokatalis AAJP/ TiO_2

Modifikasi fotokatalis AAJP/ TiO_2 dibuat dengan perbandingan berat AAJP/ TiO_2 yaitu 1:99, 2:98, 3:97, 4:96, 5:95. Dengan kontrol TiO_2 tanpa AAJP. AAJP dan TiO_2 disuspensikan dalam aquademin, selanjutnya suspensi diletakkan dalam sonikator selama 5 jam, setelah disaring kemudian AAJP/ TiO_2 dikeringkan dalam oven dengan suhu 105°C selama 24 jam. Morfologi dari partikel fotokatalis AAJP/ TiO_2 dianalisis menggunakan SEM

Uji aktivitas fotoreduksi ion logam berat limbah tekstil dengan fotokatalis AAJP/ TiO_2

Fotokatalis TiO_2 tanpa AAJP digunakan sebagai kontrol. 200 mL air limbah yang telah disaring untuk menghilangkan endapan dimasukkan ke dalam gelas beaker. Tingkat pH medium diatur pada pH 2, 5, 7, 9 dan 13, pH diatur dengan menggunakan asam nitrat dan NaOH. Kemudian 0.5 gram fotokatalis dimasukkan ke dalam medium. Selanjutnya terhadap masing-masing medium untuk fotokatalis yang telah diatur pH-nya diberi perlakuan dengan sumber sinar yang berbeda yaitu sumber sinar lampu UV dan sumber sinar matahari. Adapun perlakuan secara keseluruhan untuk

fotoreduksi ion logam adalah sebagai berikut:

Pengaruh perbandingan berat AAJP/TiO₂ terhadap aktivitas fotokatalis AAJP/TiO₂

Variasi perbandingan berat AAJP : TiO₂ yang digunakan adalah 0:1, 1:0, 1:99, 2:98, 3:97, 4:96 dan 5:95. Dengan kondisi pH 13 (pH limbah), sumber sinar lampu UV. Suhu pembuatan arang aktif 300⁰C dan 700⁰C

Pengaruh pH terhadap aktivitas fotokatalis AAJP/TiO₂

Variasi pH yang digunakan adalah 2, 5, 7, 9 dan 13. Kondisi percobaan, suhu pembuatan arang aktif 300⁰C dan 700⁰C, sumber sinar lampu UV, perbandingan berat AAJP/TiO₂ yang digunakan adalah perbandingan berat optimum AAJP/TiO₂.

Pengaruh sumber sinar terhadap aktivitas fotokatalis AAJP/TiO₂

Variasi sumber sinar yang digunakan adalah sinar lampu UV dan sinar matahari. Kondisi percobaan, suhu pembuatan arang aktif 300⁰C dan 700⁰C, perbandingan berat AAJP/TiO₂ yang digunakan adalah perbandingan berat optimum dan pH yang digunakan adalah pH optimum.

Reaktor untuk fotokatalisis disetimbangkan selama 30 menit pada

kondisi gelap, kemudian reaktor diberi sumber sinar. Sampel diambil setiap 1 jam sampai 3 jam penyinaran. Konsentrasi ion logam berat (Pb, Cd, Cr dan Cu) dianalisis menggunakan AAS. Setiap percobaan diulang 3x (triplo).

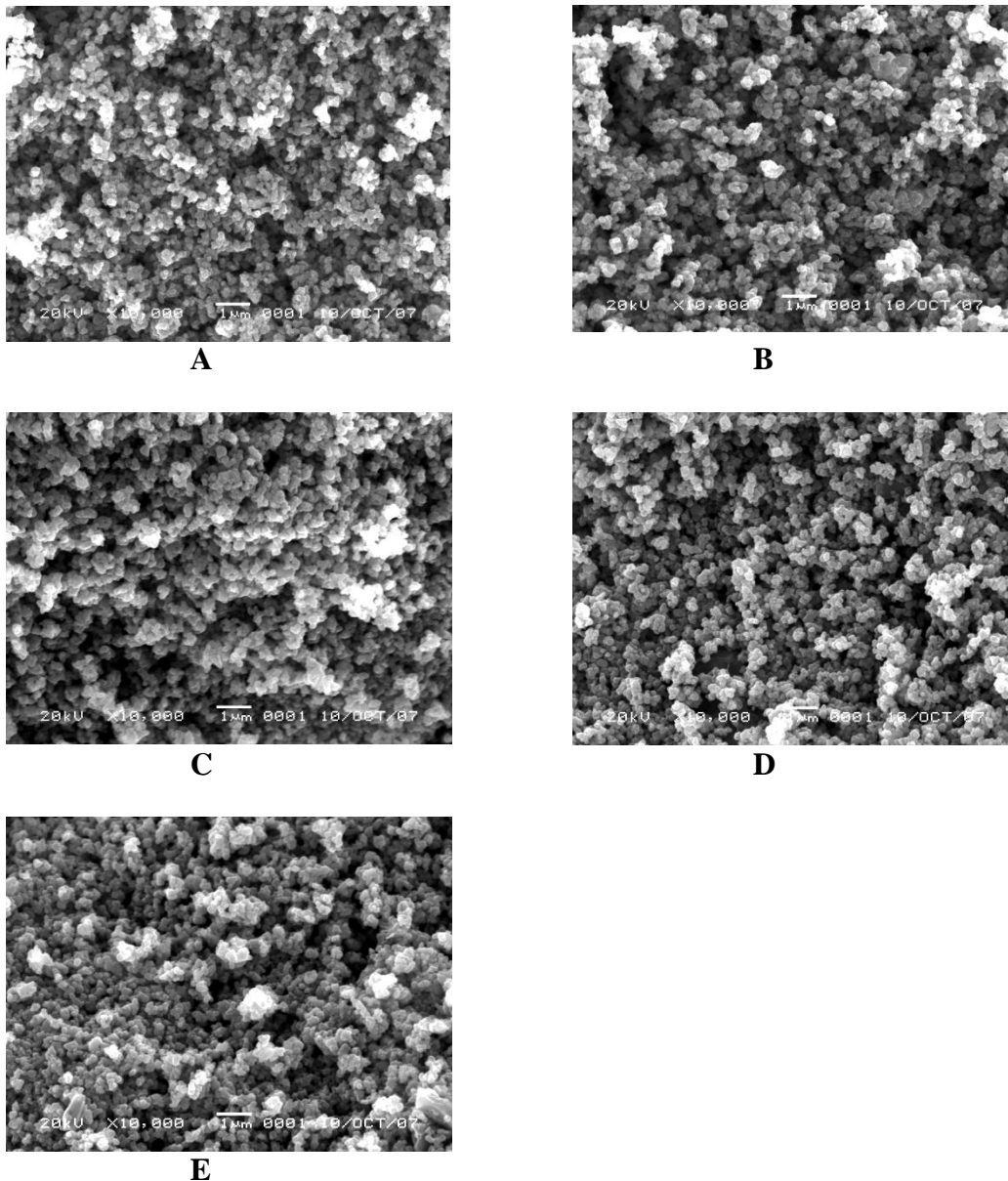
HASIL DAN PEMBAHASAN

Pembuatan Arang Aktif

Rendemen arang dari jerami padi didapat sebesar 34,50% (b/b), selanjutnya terhadap arang yang didapat diaktivasi pada suhu 300⁰C dan 700⁰C sehingga didapat arang aktif. Besarnya % berat arang aktif per berat jerami padi didapat sebesar 17,93% untuk aktivasi pada suhu 700⁰C dan 24,11% untuk aktivasi pada suhu 300⁰C.

Analisis Fotokatalis Menggunakan SEM

Fotokatalis yang telah dibuat dianalisis morfologi permukaannya dengan analisis SEM. Analisis SEM dilakukan untuk melihat morfologi dari fotokatalis. Gambar 1. memperlihatkan bahwa untuk aktivitas optimum yaitu 1% AAJP₃₀₀/TiO₂ dan TiO₂/1% AAJP₇₀₀, pori-pori dari katalis lebih besar dibanding dengan pori-pori TiO₂ serta lebih merata. Untuk penambahan masing-masing AAJP lebih lanjut maka permukaan fotokatalis menjadi tidak merata dan pori-porinya menjadi semakin kecil.



Gambar 1. Hasil SEM untuk fotokatalis A. TiO_2 B. 1% AAJP₃₀₀/ TiO_2 C. 5% AAJP₃₀₀/ TiO_2 D. 3% AAJP₇₀₀/ TiO_2 E. 5% AAJP₇₀₀/ TiO_2

Pengaruh Perbandingan Berat AAJP/ TiO_2

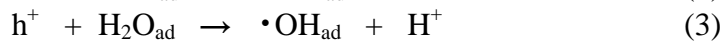
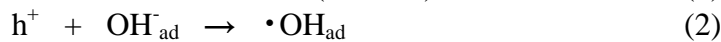
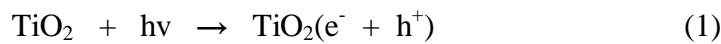
Penambahan 1% AAJP₃₀₀ terhadap TiO_2 akan meningkatkan aktivitas fotokatalis yang cukup signifikan dibandingkan dengan TiO_2 saja ataupun perbandingan lainnya. Data untuk katalis TiO_2 terjadi penurunan konsentrasi ion logam sebesar 65,02%. Data untuk katalis

1% AAJP₃₀₀/ TiO_2 terjadi penurunan konsentrasi ion logam berat sebesar 65,02%. Sedangkan pada Gambar 2.B. penambahan 3% AAJP₇₀₀ meningkatkan aktivitas fotokatalis dibandingkan dengan TiO_2 saja ataupun perbandingan lainnya. Data untuk katalis 3% AAJP₇₀₀/ TiO_2 terjadi penurunan konsentrasi ion logam sebesar 94,50%.

Peningkatan aktivitas TiO_2 dengan adanya penambahan AAJP pada TiO_2 terjadi karena AAJP berfungsi sebagai adsorben sehingga zat warna dan ion logam akan terkonsentrasi pada AAJP sehingga proses fotokatalisis oleh TiO_2 akan semakin efisien karena semakin banyak zat warna dan ion logam yang berhubungan dengan TiO_2 .

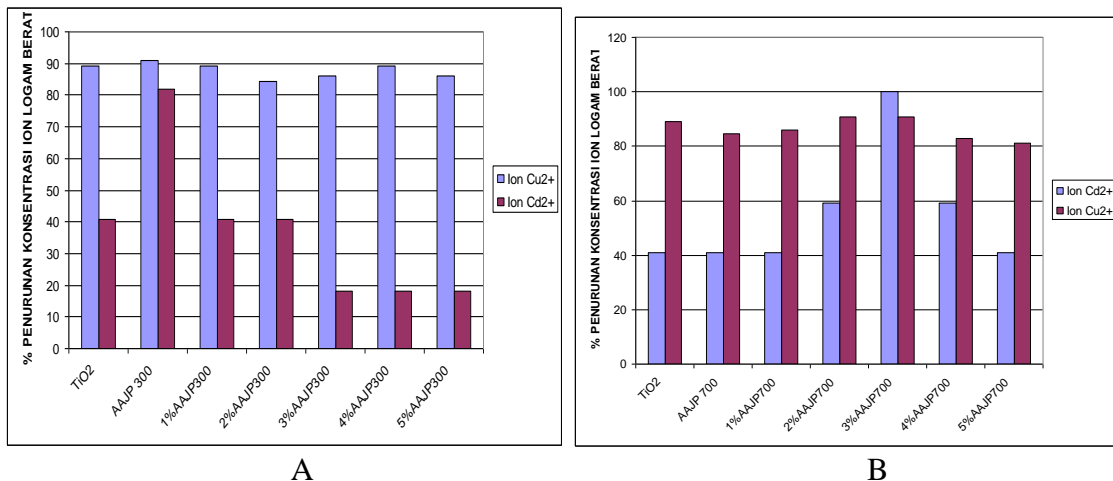
Penurunan aktivitas fotokatalis pada penambahan AAJP lebih lanjut terjadi karena permukaan fotokatalis yang tidak merata dan pori-pori yang semakin mengecil seperti terlihat dari data SEM, sehingga jumlah zat warna dan ion logam yang teradsorpsi oleh fotokatalis semakin menurun yang akan menurunkan aktivitas fotokatalis.

TiO_2 dapat mengkatalisis reaksi reduksi dan oksidasi. Reaksi oksidasi dapat terjadi karena lubang positif yang terbentuk selama aktivasi fotokatalis akan mengoksidasi ion hidroksi atau air pada permukaan katalis menghasilkan radikal hidroksil $\text{HO}\cdot$. Radikal ini akan mengoksidasi senyawaan organik zat warna yang juga terdapat pada limbah tekstil. Reaksi reduksi ion logam dapat terjadi karena elektron yang dihasilkan oleh fotokatalis akan bereaksi dengan ion logam menghasilkan logamnya. Mekanisme reaksi digambarkan oleh Sonawane *et. al.* (2006), tahapannya sebagai berikut:



radikal hidroksil $\cdot\text{OH}$ yang dihasilkan memiliki peranan penting dalam mengoksidasi senyawaan organik yaitu zat warna yang juga terdapat pada limbah cair industri tekstil. Semakin

tinggi pembentukan hidroksil radikal maka akan semakin besar pula kemampuan fotokatalis untuk mengoksidasi senyawaan organik.



Gambar 2. Persen penurunan konsentrasi zat warna dan ion logam limbah cair industri tekstil pada pH 13 dengan pengaruh perbandingan berat AAJP/ TiO_2 . A. untuk AAJP₃₀₀ dan B. untuk AAJP₇₀₀

Pengaruh pH

Pada pengaruh pH memperlihatkan bahwa untuk semua fotokatalis AAJP/TiO₂ yang digunakan aktivitas fotokatalis akan semakin meningkat dengan penurunan pH. pH optimum untuk semua fotokatalis yang digunakan adalah pH 2, dengan besar penurunan konsentrasi ion logam untuk

katalis 1% AAJP₃₀₀/TiO₂ sebesar 99,87%, untuk katalis 3% AAJP₇₀₀/TiO₂ sebesar 100%. Menurut Toor (2006), pH larutan akan mempengaruhi muatan pada partikel TiO₂, bentuk agregat TiO₂ dan posisi dari pita konduksi dan pita valensi TiO₂.

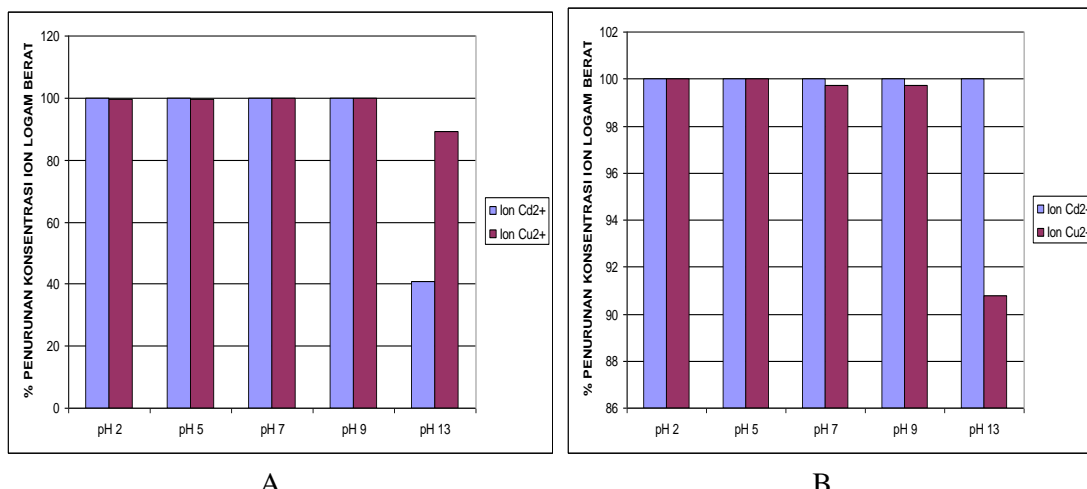
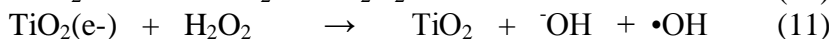
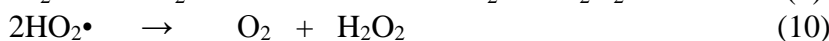
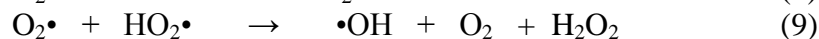


Persamaan diatas menunjukkan bahwa muatan partikel TiO₂ tidak berpengaruh terhadap aktivitas fotoreduksi ion logam pada limbah tekstil. Ion logam pada suasana asam akan bermuatan positif (+) sedangkan permukaan partikel TiO₂ juga bermuatan positif.

Pada Percobaan ini yang berperan pada peningkatan aktivitas fotokatalis adalah jumlah radikal hidroksil yang dihasilkan dari sistem.

Semakin banyak radikal hidroksil maka fotodegradasi zat warna yang terdapat pada limbah tekstil akan semakin meningkat pula maka rekombinasi *hole* dan elektron akan berkurang sehingga fotoreduksi ion logam pun akan meningkat pula.

Pada pH asam radikal hidroksil yang dihasilkan oleh sistem fotokatalis akan semakin meningkat dengan persamaan reaksi sebagai berikut (Hoffman, 1995):



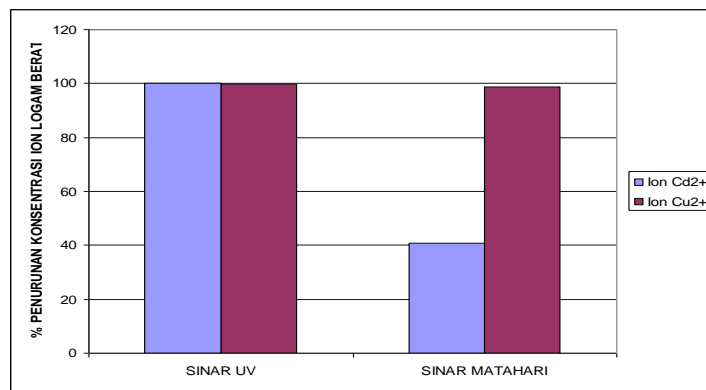
Gambar 3. Pengaruh pH terhadap aktivitas fotokatalis AAJP/TiO₂
A. 1% AAJP₃₀₀/TiO₂ dan B. 3% AAJP₇₀₀/TiO₂

Pengaruh Sumber Sinar

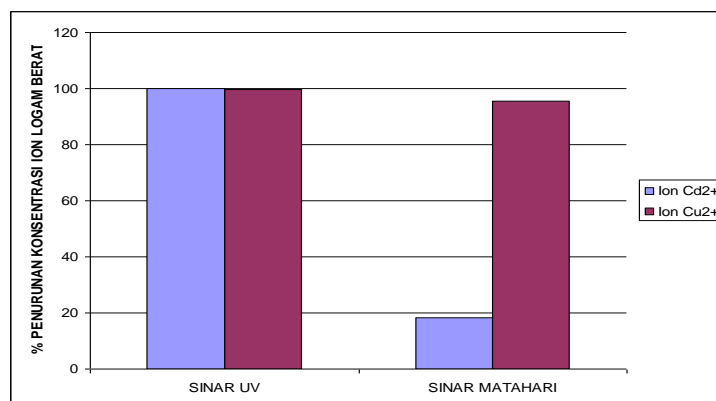
Penggunaan sinar matahari sebagai sumber sinar untuk proses fotokatalis AAJP/TiO₂ menunjukkan aktivitas yang cukup baik pada pengolahan ion logam berat yang terdapat pada limbah industri tekstil. Untuk penggunaan 1% AAJP₃₀₀/TiO₂ diperoleh hasil penurunan konsentrasi ion logam sebesar 69,81%, untuk 3% AAJP₇₀₀/TiO₂ sebesar 56,83%.

Hasil dari pengaruh sumber sinar dapat dilihat pada Gambar 4. Fotoreduksi ion logam sangat dipengaruhi oleh sumber sinar yang digunakan, untuk penggunaan sinar matahari sebagai sumber sinar terjadi penurunan aktivitas fotoreduksi ion

logam. Zat warna yang terdapat pada limbah tekstil dapat berperan sebagai sensitizer sinar tampak, tidak meningkatkan aktivitas fotoreduksi ion logam karena elektron yang diinjeksikan zat warna ke permukaan TiO₂ tidak digunakan untuk mereduksi ion logam berat. Elektron yang digunakan untuk mereduksi ion logam hanya berasal dari eksitasi TiO₂ ke pita konduksi menggunakan sinar UV, sinar UV pada sinar matahari intensitasnya jauh lebih kecil dibanding pada lampu UV sehingga aktivitas fotoreduksi ion logam juga akan jauh lebih kecil pada penggunaan sumber sinar matahari dibanding dengan sumber lampu UV.



A



B

Gambar 4. Pengaruh sumber sinar terhadap % penurunan zat warna dan ion logam berat pada katalis A. 1% AAJP₃₀₀/TiO₂ B. 3% AAJP₇₀₀/TiO₂

KESIMPULAN

Berdasarkan hasil penelitian dapat disimpulkan bahwa aktivitas TiO_2 untuk mereduksi ion logam berat pada limbah cair tekstil dapat ditingkatkan dengan memodifikasi penggunaan karbon aktif dari jerami padi.

Perbandingan berat AAJP/ TiO_2 akan mempengaruhi aktivitas fotokatalis. Aktivitas fotokatalis optimum pada pengaruh perbandingan berat AAJP $300^\circ\text{C}/\text{TiO}_2$ (1:99) dengan persen penurunan konsentrasi ion logam sebesar 65,02 %, sedangkan AAJP $700^\circ\text{C}/\text{TiO}_2$ (3:97) dengan persen penurunan konsentrasi ion logam berat 94,5 %.

Besarnya pH limbah akan mempengaruhi aktivitas fotokatalis. Proses optimum untuk reduksi ion logam berat terjadi pada pH 2 dengan persen penurunan konsentrasi ion logam berat untuk AAJP $300^\circ\text{C}/\text{TiO}_2$ (1:99) sebesar 99,87 % sedangkan untuk AAJP $700^\circ\text{C}/\text{TiO}_2$ (3:97) sebesar 100 %.

Sumber sinar akan mempengaruhi aktivitas fotokatalis. Sumber sinar lampu UV sangat baik untuk fotoreduksi ion logam berat (AAJP $300^\circ\text{C}/\text{TiO}_2$ 1:99 adalah 99,87 % dan AAJP $700^\circ\text{C}/\text{TiO}_2$ 3:97 adalah 100 %).

DAFTAR PUSTAKA

- Dingwang Chen and Ajay K. Ray. 1999. *Elimination of Mercury in Wastewater by Heterogeneous Photocatalysis*, The 8th Congress of Asia Pacific Confederation of Chemical Engineering. August 16-19, Seoul, Korea
- Hilal, HS., LZ Majjad, N. Zaatar, A. El-Hamouz. 2007. Dye-effect in TiO_2 Catalyzed Contaminant Photo-degradation: Sensitization vs. Charge-transfer Formalism. *Solid State Sciences*, 9., 9-15
- Hoffman, M.R., et. All. 1995. Environmental Application of Semiconductor Photocatalysis. *Chem. Rev.* 95, 69-96
- Nguyen, V.N.H., Amal R., Beydoun D. 2003. Effect of Formate and Methanol on Photoreduction /removal of Toxic Cadmium Ion Using TiO_2 Semiconductor as Photocatalyst., *Chem. Eng. Sci.*, 58 (19) 4429-4439
- Sonawane, R.S., and M.K. Dongare. 2006. Sol-gel Synthesis of Au/TiO_2 Thin Films for Photocatalytic Degradation of Phenol in Sunlight. *Journal of Molecular Catalysis A: Chemical* 243, 68-76
- Toor, A.P., Anoop Verma., C.K. Jotshi., P.K. Bajpai., and Vasundhara Singh. 2006. Photocatalytic Degradation of Direct Yellow 12 Dye Using UV/TiO_2 in a Shallow Pond Slurry Reactor. *Dyes and Pigments*. 68, 53-60