

PENURUNAN KADAR AMONIAK DAN FOSFAT LIMBAH CAIR TAHU SECARA FOTO KATALITIK MENGGUNAKAN TiO_2 DAN H_2O_2

Taufiqur Rohman, Azidi Irwan, Zakiyatir Rahmi*
Program Studi Kimia FMIPA Universitas Lambung Mangkurat
Jl. A. Yani Km. 36 Banjarbaru, Kalimantan Selatan
*e-mail: zakiyatir.rahmi@ymail.com

ABSTRACT

Decreasing of Ammoniac and Phosphate Content of Tofu Wastewater by photocatalytic Using TiO_2 And H_2O_2

The research reduction of ammonia and phosphate content of photocatalytic tofu wastewater by using TiO_2 and H_2O_2 had been done. The aim of this research is to find out the optimum concentration of TiO_2 and H_2O_2 , reaction time to decrease ammonia and phosphate in tofu wastewater after treatment with photocatalytic reaction. The photocatalytic reaction was used to degradation of ammonia and phosphate with the radiation by UV lamp, photocatalyst and oxidant. The results are shown that of ammonia content in artificial waste was decreased, variation in the concentration of TiO_2 , H_2O_2 , and time obtained the optimum concentration of 50 mg/L, 140 mg/L and the optimum time for 60 minutes with a percentage 72,18%, 86,00%, and 83,11%. The decrease of phosphate content, that found of variation in the concentration of TiO_2 , H_2O_2 , and time obtained the optimum concentration of 100 mg/L, 160 mg/L and the optimum time for 300 minutes with a percentage 79,34%, 77,59% and 78,12% respectively. The photocatalytic treatment of the tofu waste water carried out the addition with aeration. Measurement level of ammonia in tofu wastewater without aeration and with aeration a percentage of decrease are 56.5% and 66.14%. Measurement of phosphate without aeration and with aeration a percentage of decrease are 47.03% and 53.30%. Concluded, ammonia and phosphate content in tofu wastewater can be decreased by photocatalytic with UV rays.

Keywords: *tofu waste water, photo catalytic, ammonia, phosphate, TiO_2 , H_2O_2*

ABSTRAK

Penelitian tentang penurunan kadar amoniak dan fosfat limbah cair tahu secara foto katalitik menggunakan TiO_2 dan H_2O_2 telah dilakukan. Penelitian ini bertujuan untuk mendapatkan konsentrasi TiO_2 dan H_2O_2 optimum, dan waktu reaksi terbaik untuk penurunan amoniak dan fosfat limbah cair tahu setelah pengolahan dengan reaksi foto katalitik. Reaksi foto katalitik digunakan untuk mendegradasi amoniak dan fosfat dengan bantuan sinar ultra violet, fotokatalis dan oksidan. Hasil penelitian menunjukkan bahwa penurunan kadar amoniak pada limbah buatan dengan variasi konsentrasi TiO_2 dan H_2O_2 didapatkan konsentrasi optimum sebesar 50 mg/L dan 140 mg/L dengan persentase penurunan sebesar 72,18% dan 86,00%. Penurunan kadar fosfat dengan variasi konsentrasi TiO_2 dan H_2O_2 didapatkan konsentrasi optimum sebesar 100 mg/L dan 160 mg/L dengan persentase penurunan sebesar 79,34% dan 77,59%. Pada variasi waktu didapatkan waktu terbaik selama 60 menit pada amoniak dan 300 menit pada fosfat dengan persentase penurunan sebesar 83,11% dan 78,12%. Pada perlakuan foto katalitik terhadap limbah cair tahu dilakukan aerasi. Pengukuran kadar amoniak limbah cair tahu tanpa aerasi dan aerasi didapatkan persentase penurunannya sebesar 56,50% dan 66,14%. Pengukuran kadar fosfat limbah cair tahu tanpa aerasi dan aerasi didapatkan persentase penurunannya sebesar 47,03% dan 53,30%. Disimpulkan bahwa kadar amoniak dan fosfat limbah cair tahu terjadi penurunan secara foto katalitik dengan bantuan sinar UV.

Kata Kunci: limbah cair tahu, foto katalitik, amoniak, fosfat, TiO_2 , H_2O_2

PENDAHULUAN

Industri tahu merupakan salah satu industri yang banyak terdapat di Indonesia, karena tahu adalah makanan yang disukai masyarakat dan bergizi tinggi. Pada proses

pembuatan tahu dihasilkan limbah cair, yang mana limbah tersebut dapat berdampak negatif apabila tidak dikelola dengan benar. Menurut Nurhasan dan Pramudyanto (1997), limbah cair industri tahu mempunyai kadar amoniak yang tinggi. Pada lingkungan yang tercemar kadar amoniak di atas 0,1 mg/L

akan mengakibatkan terganggunya ekosistem biota perairan, selain itu juga menimbulkan berbagai penyakit bagi manusia. Kandungan fosfat yang tinggi pun dapat menyebabkan terjadinya pertumbuhan tanaman air yang tidak terkendali, sehingga dapat mengganggu cahaya yang masuk ke perairan dan mengurangi distribusi oksigen untuk biota perairan (Wati, 2008).

Teknologi fotokimia juga dapat digunakan untuk pengolahan limbah cair organik karena kemampuannya untuk mendegradasi senyawaan organik menjadi CO₂ dan air yang relatif tidak berbahaya (Sturini *et al.*, 2012). Proses tersebut dapat dilakukan dengan adanya katalis TiO₂, dimana TiO₂ merupakan fotokatalis heterogen yang efisien dan paling banyak diteliti mengenai pemanfaatannya untuk mengatasi masalah pencemaran lingkungan karena sifatnya yang stabil secara kimia dan fisika (Anpo, 2000).

Pada penelitian Jayadi, Destiarti, & Sitorus.(2014) penggunaan fotokatalis TiO₂ dan penyinaran dengan lampu UV dapat menurunkan bahan organik sebesar 89,4%. Selain itu, Santi (2009) melaporkan penggunaan TiO₂ dapat menurunkan surfaktan pada limbah deterjen sebesar 95,6%. Pada proses ini, fotokatalis dapat diberi tambahan hidrogen peroksida (H₂O₂) sebagai *electron scavenger*. Pada penelitian Yuningrat, Gunamantha, & Wiratini (2012) dalam pengolahan lindi dengan sistem UV/H₂O₂/TiO₂ dan UV/H₂O₂ dapat meningkatkan efektivitas penyisihan BOD dan COD lindi. Selain itu, Aji (2015) melaporkan bahwa dengan penambahan reagen fenton (Fe:H₂O₂) pada pengolahan limbah cair tahu didapat persentase penurunan nilai COD >90%.

BAHAN DAN METODE

Bahan dan Alat

Bahan-bahan yang digunakan adalah limbah cair industri tahu, serbuk TiO₂ p.a *Merck*, H₂O₂ 30% *Merck* p.a, natrium nitroprusida *Merck* p.a, akuades, amonium klorida *Merck* p.a, fenol p.a *Merck*, etil alkohol *Merck* p.a, indikator fenoltalein p.a, H₂SO₄ p.a *Merck*, KH₂PO₄ p.a *Merck*,

amonium molibdat p.a, kalium antimonil tartrat p.a dan asam askorbat p.a *Merck*.

Alat-alat yang digunakan dalam penelitian ini meliputi saringan limbah, aquarium ukuran 30 cm x 20 cm x 15 cm berkapasitas 9 liter, lampu *Philips* UV C 30 Watt, model reaktor sederhana fotokimia, aerator *Recent RC-999*, pompa celup *Recent RC-650*, stirrer *PMC*, pipa dan selang, alat-alat gelas standar *pyrex*, dan 1 unit Spektrofotometer UV-Visible *Genesys 10uv*.

Metode

a. Pengambilan Sampel

Sampel pada penelitian ini diperoleh dari industri tahu di daerah Banjarbaru. Metode pengambilan sampel limbah tahu ini menggunakan metode *diagonal*.

b. Pembuatan Model Reaktor Pengolahan Limbah

Cashing reaktor dibuat sesuai dengan ukuran reaktor limbah. Reaktor limbah terbuat dari aquarium dengan luas 30 cm x 20 cm x 15 cm. Lampu UV dirangkai dalam *cashing* dan menyambungkannya ke stop kontak. Dua buah bak aquarium disiapkan untuk menampung limbah cair tahu sebelum dan sesudah pengolahan secara fotokimia diluar *cashing*. Selanjutnya dilakukan aerasi setelah didapat konsentrasi TiO₂ dan H₂O₂ optimum serta waktu terbaik dengan perlakuan non aerasi.

c. Penentuan Konsentrasi TiO₂ Optimum

Pada penentuan konsentrasi TiO₂ dilakukan sistem artifisial dengan larutan ammonium klorida dan kalium dihidrogen fosfat sebagai pengganti limbah, dimana larutan dibuat sesuai konsentrasi awal limbah. Sebanyak 5 liter larutan dimasukkan ke dalam bak aquarium. Kemudian serbuk titanium dioksida dimasukkan ke air limbah pada bak bagian atas dengan variasi konsentrasi 25, 50, 100, 150, dan 200 mg/L. Selanjutnya diberi perlakuan dengan sumber sinar lampu UV selama 6 jam. Setelah 6 jam, diukur kadar amoniak dan fosfat dengan spektrofotometer uv-vis dan didapat konsentrasi optimum TiO₂.

d. Penentuan Konsentrasi H_2O_2 Optimum

Pada penentuan konsentrasi H_2O_2 dilakukan perlakuan yang sama seperti pada prosedur sebelumnya dengan penambahan TiO_2 optimum pada bak bagian atas dan hidrogen peroksida pada bak bagian bawah dengan variasi konsentrasi 80, 100, 120, 140, dan 160 mg/L.

e. Penentuan Waktu Penyinaran Optimum

Pada penentuan waktu penyinaran dilakukan perlakuan yang sama seperti pada prosedur sebelumnya dengan penambahan TiO_2 optimum pada bak bagian atas dan H_2O_2 optimum pada bak bagian bawah dan dilakukan pengambilan sampel setiap 30 menit.

f. Aplikasi pada Limbah Cair Tahu

Dilakukan perlakuan yang sama seperti pada prosedur sebelumnya menggunakan limbah cair tahu dengan penambahan TiO_2 optimum dan H_2O_2 optimum serta aerasi.

HASIL DAN PEMBAHASAN

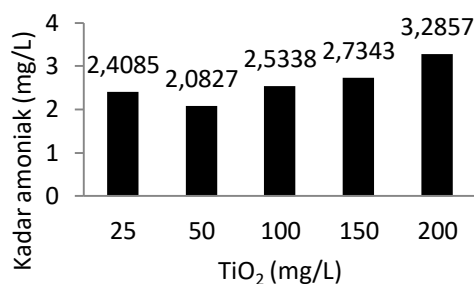
Pada penelitian ini dilakukan pengukuran kadar amoniak dan fosfat pada limbah cair tahu sebelum perlakuan secara foto katalitik dan diperoleh kadar amoniak awal sebesar 7,4866 mg/L dan kadar fosfat awal sebesar 4,1083 mg/L. Menurut Peraturan Gubernur Kalimantan Selatan No. 04 tahun 2007 dan Peraturan Pemerintah No. 82 tahun 2001, kadar maksimum amoniak hasil industri tahu sebesar 0,5 mg/L dan kadar maksimum fosfat sebagai parameter kualitas air sebesar 0,2 mg/L. Hal itu akan mengganggu ekosistem di air. Oleh karena itu, perlu adanya perlakuan pada limbah terlebih dahulu.

a. Konsentrasi TiO_2 Optimum

Pada Gambar 1 dapat ditunjukkan bahwa penambahan TiO_2 dengan konsentrasi 25, 50, 100, 150, dan 200 mg/L terjadi penurunan kadar amoniak berturut-turut sebesar 2,4085; 2,0827; 2,5338; 2,7343; dan 3,2857 mg/L. Nilai tersebut diikuti dengan persentase penurunan kadar amoniak sebesar 67,82; 72,18; 66,15; 63,47; dan 56,11%.

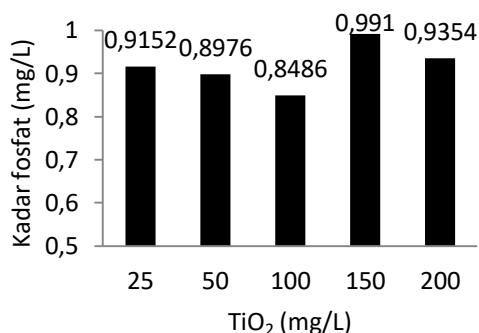
Menurut Damayanti, Wardhani & Purwonugroho (2014) hal itu menunjukkan terjadinya reaksi fotokatalitik saat TiO_2 disinari UV yang menghasilkan *hole* dan elektron, dimana *hole* bermuatan positif akan berinteraksi dengan H_2O atau ion OH^- dan akan menghasilkan suatu radikal. Radikal tersebut akan mendegradasi ion-ion amonium yang terdapat pada limbah tahu.

Pada penambahan TiO_2 dengan konsentrasi 100, 150, dan 200 mg/L dapat dilihat kadar amoniak mengalami kenaikan dibandingkan pada penambahan konsentrasi TiO_2 sebesar 25 dan 50 mg/L. Pada penelitian Hibban, Rezagama, & Purwono (2016) terjadi kenaikan konsentrasi amoniak setelah perlakuan dengan teknologi biofilter, dimana hal tersebut dapat diindikasikan telah terjadi proses asimilasi nitrat-nitrit sehingga meningkatkan kadar amoniak akibat penurunan N-organik (proses amonifikasi).



Gambar 1. Grafik Hubungan Pengaruh Konsentrasi TiO_2 terhadap Kadar Amoniak

Penurunan persentase pada konsentrasi 100, 150 dan 200 mg/L tersebut karena semakin banyak TiO_2 yang ditambahkan menyebabkan terhalangnya sinar yang masuk, selain itu terjadi penggumpalan serbuk TiO_2 , sehingga penyerapan sinar oleh foto katalis berkurang dan tidak dapat bekerja secara maksimal (Santi, 2009). Selain itu, pengadukan yang tidak merata juga menyebabkan TiO_2 mengendap sehingga sisi aktifnya pun berkurang. Pada penambahan TiO_2 dengan konsentrasi 50 mg/L didapatkan kadar amoniak terendah yaitu 2,0827 mg/L dan nilai persentase penurunan amoniak tertinggi yaitu 72,18%.



Gambar 2. Grafik Hubungan Pengaruh Konsentrasi TiO₂ terhadap Kadar Fosfat

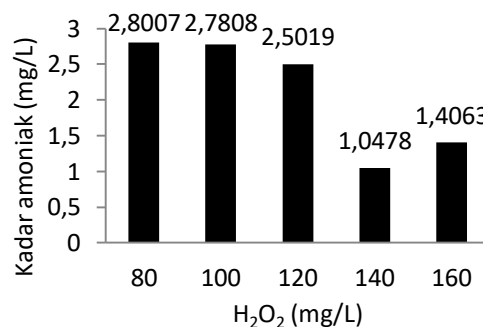
Pada Gambar 2 dapat ditunjukkan hubungan penambahan konsentrasi TiO₂ dan penurunan kadar fosfat. Pada penambahan konsentrasi TiO₂ 25, 50, 100, 150, dan 200 mg/L didapat penurunan kadar fosfat berturut-turut sebesar 0,9152; 0,8976; 0,8486; 0,9910; dan 0,9354 mg/L. Nilai tersebut diikuti dengan persentase kadar fosfat sebesar 77,72; 78,58; 79,34; 73,87; dan 77,23%. Pada penambahan konsentrasi TiO₂ 25, 50, dan 100 mg/L terjadi penurunan kadar fosfat yang semakin besar. Peningkatan tersebut dikarenakan sisi aktif foto katalis setelah diberi penyinaran sinar ultra violet. Ion fosfat yang ada pada limbah akan berkurang karena berinteraksi dengan radikal yang dihasilkan dari *hole* pada permukaan TiO₂.

b. Konsentrasi H₂O₂ Optimum

Penentuan konsentrasi H₂O₂ optimum untuk kadar amoniak ditambahkan TiO₂ sebanyak 50 mg/L dan untuk kadar fosfat sebanyak 100 mg/L. Hasil pengukuran penentuan konsentrasi H₂O₂ optimum dapat dilihat pada Gambar 3 dan 4.

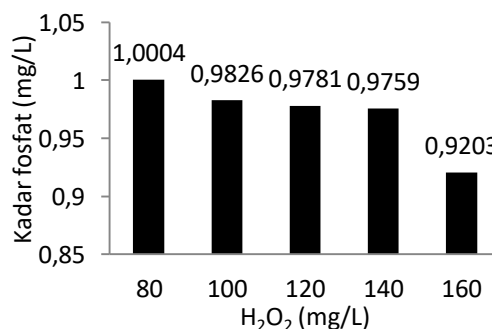
Pada Gambar 3 dapat ditunjukkan penurunan kadar amoniak dengan penambahan TiO₂ dan variasi konsentrasi H₂O₂. Pada konsentrasi H₂O₂ 80, 100, 120, 140, dan 160 mg/L diketahui penurunannya berturut-turut sebesar 2,8007 mg/L; 2,7808 mg/L; 2,5019 mg/L; 1,0478, mg/L dan 1,4063 mg/L. Nilai tersebut diikuti dengan persentase penurunan kadar amoniak sebesar 79,35; 62,85; 83,05; 86,00; dan 81,19%. Berdasarkan hasil tersebut dapat diketahui bahwa konsentrasi H₂O₂ optimum penurunan

kadar amoniak yaitu 140 mg/L, karena pada penambahannya didapat kadar terendah dan persentase penurunan yang besar. Hal itu menunjukkan pada konsentrasi 140 mg/L banyak radikal hidroksil yang terbentuk sehingga membantu aktivitas fotokatalitik TiO₂.



Gambar 3. Grafik Hubungan Pengaruh Konsentrasi H₂O₂ terhadap Kadar Amoniak

Nilai persentase pada konsentrasi H₂O₂ 140 mg/L lebih besar dibandingkan pada penelitian Huang, Li, Dong, Hou, & Liu (2008) dengan radikal hidroksil yang dihasilkan dari proses fotolisis, dimana dapat menyisihkan amoniak sebesar 26,4%. Selanjutnya, pada penambahan 160 mg/L terjadi penurunan persentase, karena penambahan H₂O₂ yang berlebihan akan menurunkan persentase degradasi karena terjadinya fenomena •OH yang bereaksi dengan H₂O₂ sehingga terbentuknya radikal HO₂• yang kurang reaktif dibandingkan radikal •OH dan adanya pembentukan molekul gas O₂ dalam sistem. Molekul gas ini tidak terlarut, sehingga akan mengalami reaksi kembali dan menghalangi transfer energi foton pada permukaan (Sibarani, Purba, Suprihatin, & Manurung, 2016).



Gambar 4. Grafik Hubungan Pengaruh Konsentrasi H₂O₂ terhadap Kadar Fosfat

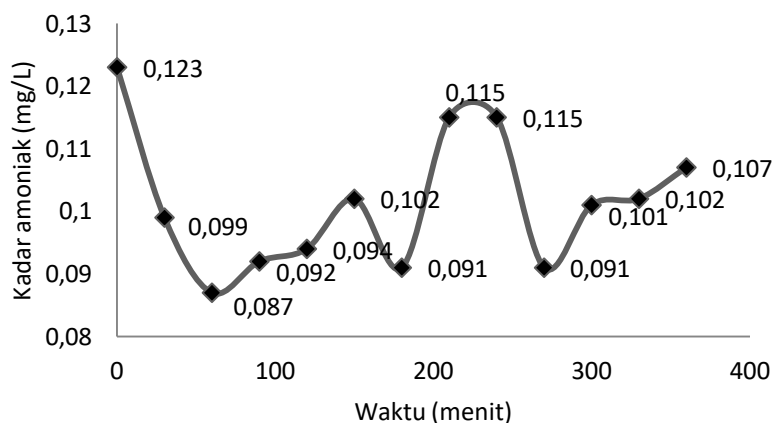
Pada Gambar 4 dapat ditunjukkan kadar fosfat terukur dengan penambahan TiO₂ dan variasi konsentrasi H₂O₂. Pada konsentrasi H₂O₂ 80, 100, 120, 140 dan 160 mg/L diketahui penurunannya berturut-turut sebesar 1,0004 mg/L; 0,9826 mg/L; 0,9781 mg/L; 0,9759 mg/L dan 0,9203 mg/L. Nilai tersebut diikuti dengan persentase penurunan sebesar 75,65; 76,08; 76,19; 76,24; dan 77,60%. Berdasarkan hasil tersebut dapat diketahui bahwa konsentrasi H₂O₂ yang terbaik untuk penurunan kadar fosfat yaitu 160 mg/L, karena pada penambahannya didapat nilai persentase yang besar yaitu sebesar 77,60%.

c. Waktu Penyinaran

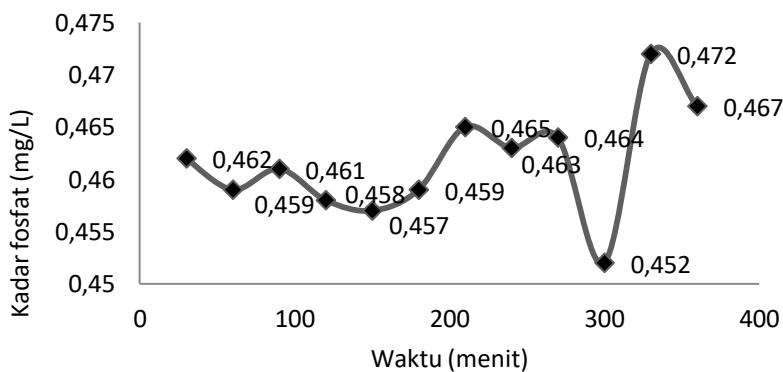
Pada Gambar 5 ditunjukkan penurunan kadar amoniak setelah perlakuan dengan

variasi waktu dengan nilai yang fluktuatif tetapi diketahui pada penyinaran selama 60 menit merupakan waktu terbaik penurunan kadar amoniak yang ditunjukkan dengan kadar sebesar 0,087 mg/L dengan persentase penurunan sebesar 83,11%. Menurut Hibban *et al.* (2016), nilai yang fluktuatif tersebut diindikasikan terjadi asimilasi nitrat-nitrit sehingga konsentrasi amoniak meningkat.

Pada Gambar 6 dapat dilihat penurunan kadar fosfat setelah perlakuan dengan variasi waktu menunjukkan nilai yang juga fluktuatif tetapi diketahui pada penyinaran selama 300 menit merupakan waktu terbaik penurunan kadar amoniak yang ditunjukkan dengan kadar sebesar 0,899 mg/L dengan persentase penurunan sebesar 78,12%.



Gambar 5. Kurva Hubungan Pengaruh Waktu Penyinaran terhadap Kadar Amoniak



Gambar 6. Kurva Hubungan Pengaruh Waktu Penyinaran terhadap Kadar Fosfat

d. Aplikasi pada Limbah Cair Tahu

Pada perlakuan dengan limbah asli diperoleh kadar amoniak sebesar 3,968 mg/L dengan persentase penurunan sebesar 56,4%. Persentase penurunan pada limbah asli lebih rendah dibandingkan persentase penurunan pada limbah buatan yaitu sebesar 83,11%. Hal ini dikarenakan pada limbah tahu terdapat senyawa selain amoniak, sehingga tidak semua amoniak dapat terdegradasi.

Sesuai sifat alamiah dari TiO_2 , *hole* dan elektron akan bergabung kembali atau mengalami rekombinasi. Oleh karena itu, keberadaan H_2O_2 dalam sistem reaksi dapat mencegah terjadinya rekombinasi dengan cara mengikat elektron, sehingga radikal $\cdot\text{OH}$ tetap terjaga jumlahnya. Selain itu H_2O_2 juga menghasilkan radikal hidroksil sehingga dapat mengoksidasi senyawa organik pada limbah cair tahu.

Radikal OH yang terbentuk dapat mengoksidasi NH_3 menjadi NO_2^- dan lebih jauh lagi menjadi NO_3^- dan N_2 . Menurut Huang *et al.* (2008) dan Simic (1971), ketika $\cdot\text{OH}$ menyerang amoniak terjadi proses oksidasi menghasilkan $\cdot\text{NH}_2$. Selanjutnya $\cdot\text{NH}_2$ akan teroksidasi menjadi $\cdot\text{NHOH}$ dan oksidasi lebih lanjut menjadi NH_2O_2^- . NH_2O_2^- yang tidak stabil terpecah menjadi NO_2^- yang dapat dioksidasi NO_3^- . Setelah terbentuk nitrat, maka nitrat akan menjadi gas N_2 (Salimin, 2012).

Pada limbah asli diperoleh kadar fosfat sebesar 1,787 mg/L dengan persentase penurunan kadar fosfat sebesar 47,03%. Jika dibandingkan dengan limbah asli, persentase penurunan kadar fosfat pada limbah buatan lebih besar, yaitu sebesar 78,12%. Hal itu disebabkan pada limbah asli terdapat senyawa selain fosfat seperti amoniak atau bahan organik lainnya yang dapat mengalami degradasi akibat perlakuan dengan sistem foto katalitik.

Penurunan kadar amoniak tanpa perlakuan aerasi dan dengan aerasi diketahui konsentrasinya sebesar 3,968 mg/L dan 3,496 mg/L dengan persentase penurunannya berturut-turut sebesar 56,5% dan 66,14%. Pada pengukuran kadar fosfat tanpa aerasi dan dengan aerasi diketahui konsentrasinya sebesar 1,787 mg/L dan 1,393 mg/L dengan persentase

penurunannya sebesar 47,03% dan 53,30%. Kadar amoniak dan fosfat yang diperoleh belum memenuhi syarat untuk langsung dibuang ke perairan, sehingga dibutuhkan perlakuan lainnya agar memenuhi baku mutu limbah. Persentase penurunan dengan perlakuan aerasi mendapatkan nilai yang lebih tinggi, hal itu mengindikasikan bahwa suplai oksigen mampu meningkatkan proses degradasi senyawa organik dari limbah cair tahu oleh mikroorganisme pada kedua parameter tersebut.

KESIMPULAN

Kesimpulan yang dapat diambil dari penelitian ini adalah konsentrasi TiO_2 dan H_2O_2 optimum pada penurunan kadar amoniak berturut-turut sebesar 50 mg/L dan 140 mg/L. Konsentrasi TiO_2 dan H_2O_2 optimum pada penurunan kadar fosfat berturut-turut sebesar 100 mg/L dan 160 mg/L. Waktu penyinaran terbaik pada penurunan kadar amoniak adalah selama 60 menit dan pada fosfat selama 300 menit. Kadar amoniak dan fosfat limbah cair tahu setelah perlakuan belum memenuhi standar baku mutu limbah.

DAFTAR PUSTAKA

- Anpo, M. (2000). Use of visible light. Second-generation titanium oxide photocatalysts prepared by the application of an advanced metal ion-implantation method. *Pure Appl. Chem.*, 72(9), 1787-1792.
- Damayanti, C.A., Wardhani, S. & Purwonugroho, D. (2014). Pengaruh Konsentrasi TiO_2 dalam Zeolit Terhadap Degradasi *Methylene Blue* Secara Fotokatalitik. *Kimia Student Journal*, 1(1), 8-14.
- Hibban, M., Rezagama, A., Purwono. (2016). Studi Penurunan Konsentrasi Amoniak dalam Limbah Cair Domestik dengan Teknologi Biofilter Aerobmedia Tubular Plastik pada Awal

- Pengolahan. *Jurnal Teknik Lingkungan*, 5(2), 1-9.
- Huang, L., Li, L., Dong, W., Hou, H. & Liu, Y. (2008). Removal of Ammonia by OH Radical in Aqueous Phase. *Environmental Science & Technology*, 42(21), 8070-8075.
- Jayadi, S.F., Destiarti, I., & Sitorus, B. (2014). Pembuatan Reaktor Foto katalis dan Aplikasinya untuk Degradasi Bahan Organik Air Gambut menggunakan Katalis TiO₂. *JKK*, 3(3), 55-58.
- Salimin, Z. & Rachmadetin, J. (2012). Denitrifikasi Limbah Radioaktif Cair yang Mengandung Asam Nitrat dengan Proses Biooksidasi. *Prosiding Seminar Nasional Teknologi Pengelolaan Limbah IX*, 149-158.
- Santi, S.S. (2009). Penurunan Kosentrasi Surfaktan Pada Limbah Detergen dengan Proses Photokatalitik Sinar UV. *Jurnal Teknik Kimia*, 4(1), 260-264.
- Sibarani, J., Purba, D.L., Suprihatin, I.E., & Manurung, M. (2016). Fotodegradasi Rhodamin B menggunakan ZnO/UV/Reagen Fenton. *Cakra Kimia (Indonesian E-Journal of Applied Chemistry)*, 4(1), 84-94.
- Yuningrat, N.W., Gunamantha, I.M., & Wiratini, N.M. (2012). Degradasi Pencemar Organik dalam Lindi dengan Proses Oksidasi Lanjut. *Jurnal Sains dan Teknologi*, 1(2), 73-84