

EFEKTIVITAS INTENSITAS CAHAYA UV-C UNTUK MENURUNKAN PARAMETER PENCEMAR LIMBAH BATIK

Bagas Priantoro dan Tuhu Agung R

Program Studi Teknik Lingkungan, Universitas Pembangunan Nasional Veteran Jawa Timur

Email tuhu.tl@upnjatim.ac.id

ABSTRAK

Proses fotokatalis merupakan pengolahan limbah yang terdiri dari fotokimia dan katalis yang bersifat semikonduktor. dalam prosesnya diperlukan sinar UV untuk meningkatkan laju reaksi reduksi dan oksidasi. UV-C memiliki panjang gelombang paling rendah yaitu berkisar 200 – 280 nm. semakin pendek panjang gelombang yang dimiliki, semakin besar energi foton yang dipancarkan. UV-C memiliki energi foton sebesar 4,43 – 12,4 eV. Penelitian tentang efektivitas intensitas cahaya UV-C untuk menurunkan beban pencemar limbah batik menggunakan proses fotokatalis TiO₂. bertujuan untuk mendapatkan efektivitas UV-C dalam menurunkan beban pencemar limbah batik. Pada penelitian ini dilakukan dengan menggunakan sistem batch dan kontinyu. Hasil penyisihan TDS pada limbah batik 49 %, perubahan warna dengan nilai skala 9, pH menjadi 7,5 dan suhu 38°C dalam waktu 120 menit dengan intensitas 2210 lux pada sistem batch. Sedangkan pada sistem kontinyu hasil penyisihan TDS 26 % , perubahan warna memiliki nilai skala 11, pH mencapai 7,4 dan suhu 35°C.

Kata Kunci : *Intensitas Cahaya, Fotokatalis, UV-C, limbah batik.*

ABSTRACT

The photocatalyst process is a waste treatment consisting of photochemical and semiconductor catalysts. in the process required UV light to increase the rate of reduction and oxidation reactions. UV-C has the lowest wavelength in the range of 200-280 nm, the shorter the wavelength it has, the greater the photon energy emitted. UV-C has photon energy of 4.43 - 12.4 eV. Research on the effectiveness of UV-C light intensity to reduce the burden of batik waste pollutants using the TiO₂ photocatalyst process. aims to get the effectiveness of UV-C in reducing the burden of polluting batik waste. In this study carried out using a batch and continuous system. TDS removal results on batik waste 49%, color changes with a scale value of 9, pH to 7.5 and 38 ° C temperature within 120 minutes with an intensity of 2210 lux in a batch system. Whereas in a continuous system of 26% TDS removal, the color change has a scale value of 11, the pH reaches 7.4 and the temperature is 35 ° C.

Keywords : *Light intensity, photocatalyst, UV-C, batik wastewater.*

PENDAHULUAN

Sinar UV-C merupakan cahaya ultraviolet dengan panjang gelombang terendah dari kedua jenis lainnya yaitu sebesar 200-280 nm. Semakin rendah panjang gelombang yang dimiliki oleh sinar UV-C, maka semakin besar kemampuannya dalam mendegradasi polutan senyawa organik (Devi, 2015). Sinar UV-C memiliki energi foton sebesar (4,43 – 12,4 eV).

Proses degradasi suatu material dengan bantuan energi foton yang berasal dari sinar ultraviolet disebut fotodegradasi (Budiman, Senadi, Suryasaputra, Dadan, Ristianti, & Dera, 2014). Mekanisme fotokatalis dapat dilakukan oleh foton dengan energi lebih tinggi dari energi celah pita TiO_2 $h\nu > E_g = 3,2$ eV (Sima & Hasal, 2013). Energi foton yang dimiliki UV-C yaitu (4,43 – 12,4 eV) sehingga dapat digunakan pada proses fotokatalis untuk menghasilkan OH radikal hidroksil secara terus menerus. Radikal hidroksil dapat mengoksidasi berbagai macam zat organik dengan cepat dan tidak selektif. Seperti limbah batik yang mengandung senyawa naphthol yang merupakan senyawa yang sukar larut atau diuraikan yang terdapat dalam bahan sintetik pada zat warna batik. Dan umumnya merupakan senyawa organik *non biodegradable* (Surahman, M. Hadiwidodo, & Rezagama, 2017).

Beberapa teknik pengolahan yang digunakan dalam menurunkan limbah batik. seperti koagulasi dan flokulasi dapat menurunkan beban pencemar COD pada limbah batik sebesar 79% dan warna 99% (Rusydi et al., 2017). Pengolahan filtrasi dapat menurunkan beban pencemar COD pada limbah batik sebesar 51,04% (Tri Murniati, 2013). Adsorpsi dengan menggunakan karbon aktif dapat menurunkan beban pencemar COD 98,74% (Rochma & Titah, 2017). dan menggunakan teknologi membran dapat menurunkan beban pencemar zat warna pada limbah batik sebesar 80,04% (Widyaningsih, Windy Dwiasi, & Hidayati, 2014). Namun semua pengolahan tersebut relative membutuhkan biaya yang mahal dan menghasilkan polusi sekunder, karena memindahkan zat beracun dari fase cair ke fase lain seperti lumpur, membrane dan adsorben. Oleh karena itu dilakukannya pengolah air limbah batik dengan menggunakan proses fotokatalis TiO_2 dengan variasi intensitas cahaya UV-C.

Fotokatalis merupakan metode alternatif yang dapat digunakan dalam pengaplikasian untuk pengolahan limbah dan fotodegradasi zat organik. Seperti zat warna naphthol pada limbah batik dengan metode ramah lingkungan dan biaya yang relatif murah (Aliah & Karlina, 2015).

METODE PENELITIAN

penelitian ini menggunakan reaktor sistem batch, dan sistem kontinyu. serta menggunakan variasi jumlah lampu UV-C. Parameter utama yang akan digunakan adalah penyisihan kandungan TDS, pH, Suhu dan perubahan fisik warna pada limbah batik.

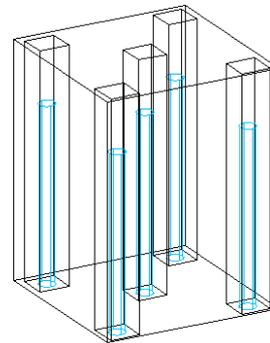
Alat

- Beaker glass
- Lampu UV-C 10 watt (5 buah)
- Reaktor dengan ketebalan kaca 0,5 cm
- Pompa submersible (1 buah)
- pH meter
- Lux meter
- TDS meter
- Bak penampung
- Bak pembagi debit
- Bak outlet

Bahan

- Sampel (Air limbah batik)
- TiO_2 (Titanium Dioksida)
- Aquadest

Cara Kerja

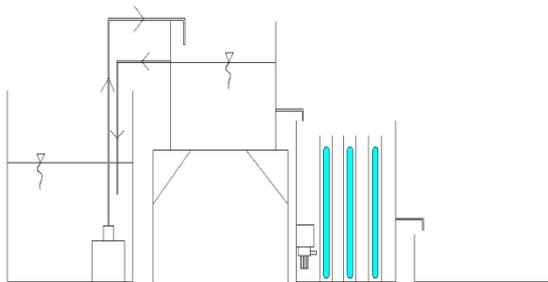


Gambar-1: Reaktor pada sistem batch

Cara Kerja Sistem Batch

- Melakukan Proses Pretreatment terlebih dahulu untuk mengurangi kadar tersuspensi agar kinerja fotokatalis dapat lebih optimal nantinya.
- Masukkan sampel air limbah batik ke dalam reaktor fotokatalis sebesar 20 liter.

3. Balut aquarium pelindung lampu UV C dengan kasa aluminium.
4. Letakkan aquarium pelindung lampu UV C dan kasa aluminium yang telah dilapisi TiO₂ ke dalam reactor.
5. Setelah itu mengaktifkan pompa submersible dan lampu UV C, dengan menggunakan lampu UV C 1 buah pada variabel 1.
6. Kemudian Mengambil hasil sampling dari bak outlet . lalu masukkan ke dalam botol berwarna gelap sesuai variabel perlakuan. Amati dan analisa hasil untuk mengukur persen penyisihan kandungan TDS, pH, Suhu dan perubahan fisik warna pada limbah batik.
7. Lakukan kembali langka-langka tersebut dengan menggunakan variabel yang telah ditentukan.



Gambar-2 : Reaktor pada sistem kontinyu

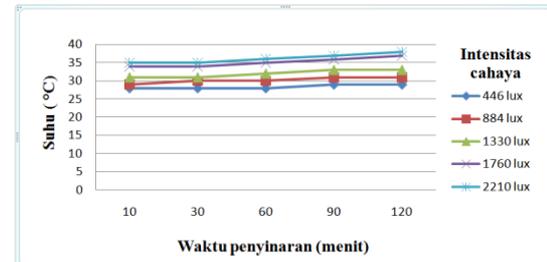
Cara Kerja Sistem Kontinyu

1. Air limbah yang telah di ambil menggunakan jerigen dimasukkan ke dalam bak penampung.
2. *Effluent* sampel air limbah batik pada bak penampung dialirkan ke dalam bak pengatur debit dengan menggunakan pompa.
3. Setelah itu air dari bak pengatur debit dialirkan menuju reaktor
4. Kemudian menyalakan lampu UV-C dan pompa yang ada dalam reaktor
5. Pada waktu yang telah ditentukan *effluent* air limbah dari reactor dilakukan sampling pada bak outlet.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Pengaruh intensitas cahaya UV-C (lux) dan waktu penyinaran (menit) terhadap perubahan suhu (°C) pada sistem batch

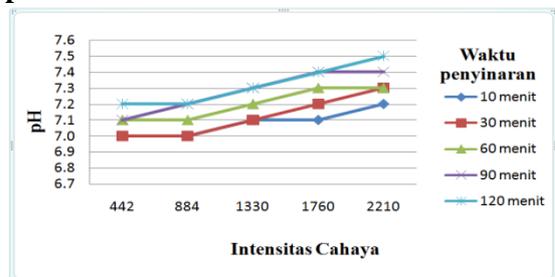
Pada penelitian ini digunakan termometer untuk mengukur suhu pada proses terjadinya fotokatalis.



Grafik-1: Hubungan antara suhu(°C) dan waktu penyinaran (menit) pada berbagai intensitas cahaya (lux)

Peningkatan suhu terjadi pada masing-masing intensitas UV-C dalam waktu penyinaran 120 menit. Suhu tertinggi adalah 38°C pada penggunaan ke lima lampu UV-C dengan intensitas 2210 lux. hal ini dikarenakan pada proses fotokatalis TiO₂ sinar UV-C akan memancarkan energi foton yang sangat besar. Bertujuan untuk mengaktifasi perpindahan elektron dimana energi foton tersebut dapat menyebabkan suhu meningkat. Cahaya UV-C akan mengalami reaksi eksoterm dimana energi yang dilepaskan oleh suatu cahaya dapat mempengaruhi kondisi lingkungan yang ada di sekitar. Berdasarkan sifat suatu energi yaitu semakin tingginya energi radiasi dalam melepaskan atom penyusun suatu benda atau zat, maka semakin tinggi suhu yang didapat (Indrawati et al., 2016). Sedangkan penggunaan 1 lampu UV-C hanya dapat menaikkan suhu sebesar 29°C dalam waktu 120 menit. Hal ini dikarenakan intensitas cahaya yang dimiliki lebih rendah sehingga mempengaruhi daya penyerapan energi foton pada proses fotokatalis, menyebabkan kenaikan derajat suhu pada air limbah yang tidak begitu besar.

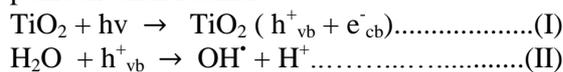
Pengaruh intensitas Cahaya UV-C (lux) dan waktu penyinaran (menit) terhadap pH pada sistem batch



Grafik-2: Hubungan antara pH dan Intensitas cahaya (lux) pada berbagai waktu penyinaran (menit).

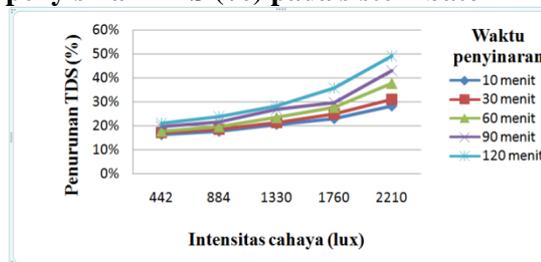
Kenaikan ph terjadi pada intensitas tertinggi yaitu 2210 lux dengan penggunaan 5 lampu UV dalam waktu 120 menit hal tersebut mempengaruhi peningkatan ph dimana semakin tinggi intensitas suatu cahaya yang digunakan maka semakin besar reaksi peningkatan OH pada proses fotokatalis. Semakin besar pengaruh degradasi senyawa organik pada proses fotokatalis akan semakin tinggi nilai pH(basa) yang terjadi pada limbah batik (nevi Dewi Andrasari, 2014).

Pada dasarnya besarnya pH dipengaruhi oleh aktivitas fotodegradasi, Suatu zat bermuatan positif, negatif atau netral termasuk basa jika memiliki pasangan elektron bebas yang terikat dengan atom OH⁻ akan bersifat basa. Sehingga semakin besar proses fotodegradasi terjadi maka semakin basa kondisi air limbah (Yoga,2018). Berikut reaksi pembentukan radikal:



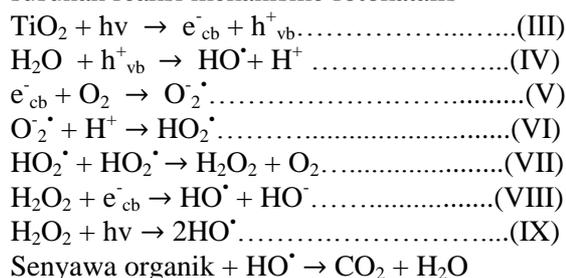
Pada reaksi diatas ketika katalis TiO₂ disinari oleh sinar UV-C maka akan terjadi proses eksitasi yang dapat mempengaruhi keberadaan dua elektron yang ada pada katalis. Elektron tersebut akan berpindah dari pita valensi ke pita konduksi (e⁻_{cb}). Pada proses tersebut terjadi penghilangan pada lubang hole yang ada pada pada pita valensi (h⁺_{vb}). Dan nantinya hole akan bereaksi dengan H₂O (Hidrogen dioksida) yang ada pada air limbah untuk menghasilkan radikal hidroksil (OH[·]). OH⁻ (Kautsar, Sri Wardani, & Danar Purwonugroho, 2013).

Pengaruh intensitas cahaya UV-C (lux) dan waktu penyinaran (menit) terhadap penyisihan TDS (%) pada sistem batch



Grafik-3: Hubungan antara penyisihan TDS (%) dan waktu penyinaran (menit) pada berbagai intensitas cahaya (lux)

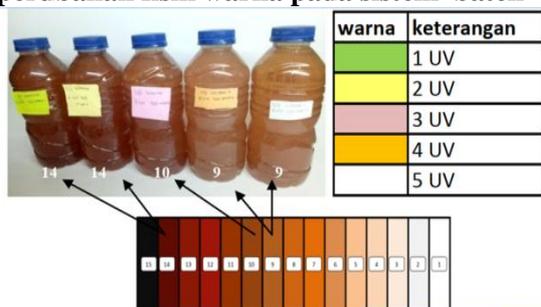
Penurunan kadar TDS terendah terjadi pada intensitas cahaya UV-C yang paling kecil yaitu 442 lux dengan waktu penyinaran 10 menit yaitu 16% dari konsentrasi TDS awal. Sedangkan pada penyisihan kadar TDS Tertinggi pada intensitas 2210 lux dengan waktu penyinaran 120 menit yaitu 49 %. Semakin tinggi intensitas Cahaya UV-C yang digunakan maka semakin banyak penurunan kadar TDS. Hal tersebut dikarenakan sinar pada UV-C yang memiliki gelombang cahaya terendah kemungkinan semakin besar efeknya dalam mendegradasi senyawa organik terlarut atau TDS (Devi Arinda, 2015). Penggunaan TiO₂ dan intensitas UV-C yang memancarkan energi radiasi gelombang elektromagnetik berupa foton untuk meningkatkan pembentukan OH radikal yang dapat mengoksidasi dan memecah unsur naftol yang merupakan komponen terlarut (TDS) menjadi gas CO₂ dan air H₂O. Berikut merupakan susunan reaksi mekanisme fotokatalis



Ketika TiO₂ disinari oleh cahaya UV-C akan terjadi proses perpindahan pada pita valensi dan pita konduksi (e⁻_{cb}). Pita valensi akan bereaksi dengan oksigen O₂ dan menghasilkan superoksida radikal (O₂^{·-}). Sedangkan hole (h⁺) akan berinteraksi dengan H₂O yang ada di

air untuk menghasilkan radikal hidroksil (HO[•]). Kedua radikal bebas akan berinteraksi dalam mengurai senyawa organik dalam bentuk H₂O dan CO₂ dengan senyawa yang lebih sederhana (Nasikhudin, Diantoro, Kutsumaatmaja, & K. Triyada, 2018).

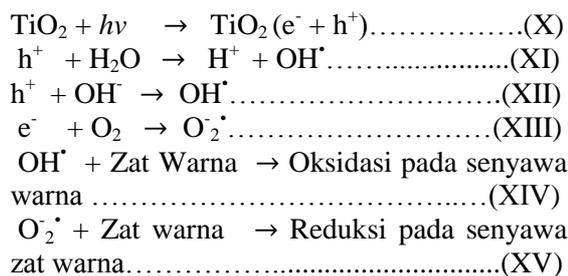
Pengaruh Intensitas Cahaya UV-C (lux) dan waktu penyinaran (menit) terhadap perubahan fisik warna pada sistem batch



Gambar-3 : Hubungan antara perubahan fisik warna dan waktu penyinaran (menit) pada berbagai intensitas cahaya(lux).

Uji warna dilakukan dengan melihat perubahan fisik warna menggunakan skala warna yang dibuat dari 1 sampai 15. perubahan warna dari segi fisik yang telah melalui proses fotokatalis TiO₂ yaitu pada intensitas UV-C 1760 lux dan 2210 lux memiliki nilai skala warna sebesar 9 yang telah terlihat perubahan warna dari coklat tua ke coklat muda. Semakin besar intensitas cahaya UV-C yang digunakan maka semakin tinggi degradasi perubahan warna yang terjadi. Begitu sebaliknya penggunaan intensitas UV-C terendah akan mendegradasi perubahan warna yang sedikit. penggunaan intensitas 442 lux yang memiliki nilai skala perubahan warna sebesar 14. Pada skala 14 masih terlihat memiliki warna pekat. Hal tersebut dikarenakan pada intensitas UV-C 442 lux tidak dapat menjangkau pada tiap sudut reaktor dengan volume 20 liter sehingga kinerja fotokatalis yang dibantu dengan intensitas UV-C 442 lux kurang maksimal.

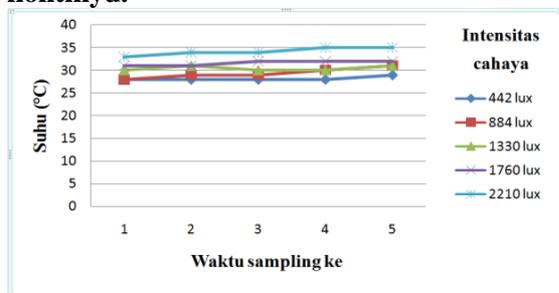
Degradasi perubahan warna yang tinggi terjadi pada intensitas UV-C 1760 dan 2210 lux yaitu memiliki nilai skala perubahan warna sebesar 9. Besarnya intensitas yang digunakan akan mempengaruhi besarnya energi foton yang diserap oleh katalis. Berikut reaksinya:



Pada reaksi tersebut suatu katalis semikonduktor TiO₂ apabila dikenai sinar UV-C dengan energi foton yang cukup besar maka electron (e⁻) pada pita valensi ber eksitasi menuju pita konduksi dan (h⁺) pada pita valensi akan bereaksi dengan air H₂O yang ada disekitar air limbah dan OH⁻ untuk membentuk OH radikal (OH[•]) yang memiliki sifat Sebagai Oksidator. Kemudian Elektron (e⁻) akan bereaksi dengan oksigen O₂ yang berada pada katalis membentuk radikal superoksida (O₂^{•-}) yang bersifat sebagai reduktor. Oksidator dan reduktor tersebut mendegradasi zat warna sehingga menghasilkan CO₂ dan H₂O dengan konsentrasi yang rendah (Devi Arinda, 2015).

Lamanya waktu penyinaran tidak dapat mempengaruhi perubahan warna pada setiap penggunaan intensitas cahaya UV-C yang digunakan dari waktu penyinaran 10 menit hingga 120 menit. Hal tersebut dikarenakan semakin lama waktu paparan yang digunakan dapat menyebabkan terjadinya penggumpalan pada partikel katalis TiO₂(Tussa'adah, 2015). Penggumpalan TiO₂ dapat menurunkan sisi aktif fotokatalis (Wardhani et al., 2014). Serta lamanya waktu yang digunakan tidak dapat membentuk OH radikal secara maksimal dalam mendegradasi senyawa zat warna. Hal tersebut dikarenakan OH radikal yang dihasilkan dalam waktu 10 hingga 120 menit belum mampu memecah cincin ikatan senyawa aromatik pada zat warna naphthol.

Pengaruh intensitas cahaya UV-C (lux) dan waktu sampling (menit) terhadap peningkatan suhu (°C) pada sistem kontinyu.

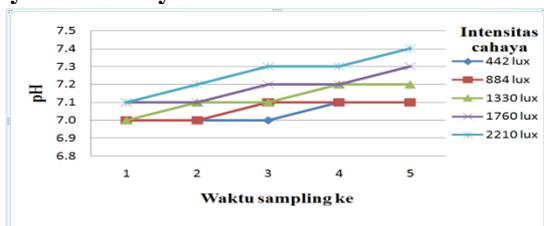


Grafik-4: Hubungan antara Suhu (°C) dengan waktu sampling (menit) pada berbagai intensitas cahaya (lux) dan debit 166,6 ml/menit.

Dapat terlihat pada gambar grafik terjadi peningkatan suhu yang tidak stabil pada intensitas UV-C 442 lux, 884 lux dan 1330 lux. Pada saat terjadinya proses fotokatalis sinar UV-C mengeluarkan energi foton yang mengenai sampai pada air limbah yang ada pada reaktor hanya berlangsung tidak lama. Hal tersebut dapat dijelaskan karena limbah yang diolah selalu terbarukan dan mempunyai waktu yang relatif lebih sebentar (Arya & Agung, 2019).

Sedangkan penggunaan intensitas 1760 lux dan 2210 lux pada gambar grafik mengalami peningkatan suhu yang stabil dikarenakan intensitas yang dimiliki sangat besar dibanding yang lainnya sehingga mampu memancarkan energi foton yang lebih besar. Energi foton tersebut dapat menembus katalis dan mengenai air limbah sehingga dapat meningkatkan suhu yang ada di sekitarnya.

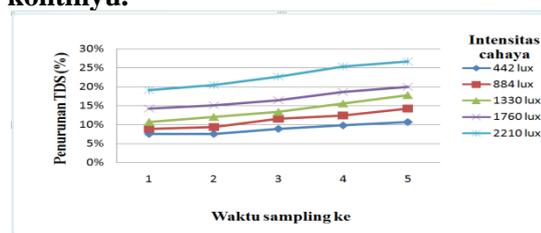
Pengaruh intensitas cahaya UV-C (lux) dan waktu sampling (menit) terhadap pH pada sistem kontinyu.



Grafik-5: Hubungan antara pH (°C) dengan waktu sampling (menit) pada berbagai intensitas cahaya (lux) dan debit 166,6 ml/menit.

Berdasarkan pada gambar grafik diatas pengaruh intensitas UV-C dalam meningkatkan pH tertinggi ditunjukkan pada intensitas 2210 lux dengan waktu sampling ke 120 menit dengan debit 166,6 ml/menit. Peningkatan pH disebabkan karena pada proses fotokatalis ketika sinar UV-C dipancarkan dan mengenai semikonduktor TiO₂ maka akan mengalami proses pembentukan OH⁻. Pembentukan OH⁻ dapat mengakibatkan naiknya pH. Semakin banyak OH⁻ yang terbentuk maka semakin basa kondisi air limbah (nevi Dewi Andrasari, 2014).

Pengaruh intensitas cahaya UV-C (lux) terhadap penyisihan TDS (%) pada sistem kontinyu.

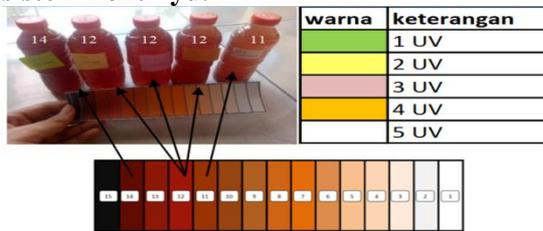


Grafik-6: Hubungan antara TDS (%) dengan waktu sampling (menit) pada berbagai intensitas cahaya (lux) dan debit 166,6 ml/menit.

Berdasarkan grafik diatas pengaruh intensitas UV-C dan waktu sampling terhadap penurunan kadar TDS dengan debit 166,6 ml/menit didapatkan hasil persen penurunan tertinggi pada intensitas 2210 lux sebesar 26% pada waktu sampling ke 5 yaitu 120 menit.

Hasil persen penurunan TDS pada sistem kontinyu lebih rendah dari sistem batch. Hal ini dikarenakan pada sistem kontinyu terdapat debit aliran yang masuk sehingga menjadikan tegangan pada permukaan air tidak stabil dan membuat aliran menjadi turbulen. Hal tersebut dapat memisahkan partikel TiO₂ yang menempel pada kasa sehingga kadar TiO₂ berkurang dan proses pembentukan radikal hidroksil (OH⁻) terhambat. Peletakan TiO₂ yang masih menempel pada kasa mempengaruhi stabilitas sisi aktif suatu katalis (Wardhani et al., 2014).

Pengaruh intensitas cahaya UV-C (lux) terhadap perubahan fisik Warna pada sistem kontinyu.



Gambar-7: Hubungan antara perubahan fisik warna dengan waktu sampling (menit) pada berbagai intensitas cahaya (lux) dan debit 166,6 ml/menit.

Berdasarkan gambar diatas terlihat ada perubahan warna pada air limbah setelah melalui proses fotokatalis TiO_2 . Namun perubahan warna terjadi tidak terlalu besar. Penurunan warna hanya terjadi dengan skala kecil secara perlahan. Hal ini disebabkan karena adanya pembentukan pada proses fotokatalis yang menghasilkan Hidroksil HO^\cdot dari peroksida yang dipengaruhi oleh besarnya intensitas UV-C. perubahan warna yang tidak terlalu besar terjadi pada penggunaan intensitas 442 lux yaitu dengan nilai skala 14. Sedangkan perubahan warna yang terlihat jelas yaitu terjadi pada penggunaan intensitas 2210 lux dengan penggunaan lampu UV-C 5 buah dengan memiliki nilai skala sebesar 11.

Hal tersebut terjadi dikarenakan semakin besar intensitas yang digunakan maka pembentukan radikal hidroksil (OH^\cdot) yang dihasilkan semakin besar. (Šima & Hasal, 2013). Pada intensitas 2210 lux dapat lebih cepat mengaktifkan semikonduktor katalis TiO_2 . Ketika semikonduktor dikenai sinar UV-C maka akan mengoksidasi ion hidroksil atau air yang terdapat pada permukaan katalis TiO_2 dan menghasilkan radikal hidroksil (OH^\cdot) (Riyani et al., 2012). Namun lamanya waktu yang digunakan tidak mempengaruhi perubahan fisik warna. Hal tersebut dikarenakan karakteristik warna limbah batik sangatlah pekat sehingga waktu yang digunakan kurang memaksimalkan kinerja dalam proses fotokatalis untuk mendegradasi zat warna naphthol pada limbah batik.

KESIMPULAN

1. Sinar UV-C cocok digunakan pada mekanisme fotokatalis TiO_2 , dikarenakan energi foton yang dimiliki Sinar UV-C lebih besar dari energi celah pita sebesar (4,43 - 12,4 eV). Penggunaan intensitas UV-C sebesar 2210 lux dinilai efektif dalam menurunkan beban pencemar limbah batik pada volume 20 liter dalam waktu 120 menit. pada sistem batch yaitu TDS sebesar 49% , pH sebesar 7,5 kenaikan suhu sebesar 38°C dan perubahan warna pada tingkat ke 9. Sedangkan pada sistem kontinyu dengan debit 166,6 ml/menit. persen penurunan TDS sebesar 26 % kenaikan pH sebesar 7,4, kenaikan suhu sebesar 35°C dan perubahan warna pada tingkat ke 11.
2. Lamanya waktu penyinaran dengan menggunakan metode fotokatalis TiO_2 UV-C tidak memiliki pengaruh besar dalam perubahan fisik warna pada limbah batik. Hal ini terjadi pada kedua pengolahan sistem batch dan kontinyu. Namun terjadi peningkatan persen penurunan TDS yang lebih besar pada waktu 120 menit, serta kenaikan pH dan suhu pada sistem batch dan kontinyu.

DAFTAR PUSTAKA

- Aliah, H., & Karlina, Y. (2015). Semikonduktor TiO_2 Sebagai Material Fotokatalis Berulang. *Jurusan Fisika UIN SGD Bandung*, IX(1), 185–203.
- Arya, G., & Agung, T. (2019). *PENGOLAHAN LIMBAH BATIK DENGAN FENTON FOTOKATALIS DALAM PLUG FLOW REACTOR*.
- Budiman, S., Suryasaputra, D., & Ristianti, D. (2014). Fotodegradasi Zat Warna Tekstil dengan Fotokatalis TiO_2 , Al_2O_3 dan H_2O_2 . *Conference Prosiding, April*.

- Devi Arinda, I. (2015). PENGARUH DAYA DAN LAMA PENYINARAN SINAR ULTRAVIOLET-C TERHADAP TOTAL MIKROBA SARI BUAH SALAK PONDOK Effects of Power Lights and Time Ultraviolet-C Irradiation on Microbial Population of Snake Fruit Pondok (Salacca edulis) Fruit Juice. *Jurnal Pangan Dan Agroindustri*, 3(4), 1337–1344.
- Indrawati Supu, Baso Usman, Selviani Basri, S. (2016). PENGARUH SUHU TERHADAP PERPINDAHAN PANAS PADA MATERIAL YANG BERBEDA. 07(1), 62–73.
- Kautsar, A., Ramadhana, K., Wardhani, S., & Purwonugroho, D. (2013). Fotodegradasi zat warna. 1(2), 168–174.
- Nasikhudin, Diantoro, M., Kusumaatmaja, a., & Triyana, K. (2018). Study on Photocatalytic Properties of TiO₂ Nanoparticle in various pH condition. *Journal of Physics: Conference Series*, 1011(1).
- nevi Dewi Andrasari, sri wardhani. (2014). Fotokatalis TiO₂-zeolit untuk degradasi metilen biru. 7(1), 9–14.
- Riyani, K., Setyaningtyas, T., & Dwiasih, D. W. (2012). Pengolahan Limbah Cair Batik menggunakan Fotokatalis TiO₂-Dopan-N dengan Bantuan Sinar Matahari. *Jurnal Kimia VALENSI*, 2(5).
- Rochma, N., & Titah, H. S. (2017). Penurunan BOD dan COD Limbah Cair Industri Batik Menggunakan Karbon Aktif Melalui Proses Adsorpsi secara Batch. *Jurnal Teknik ITS*, 6(2), 2–7.
- Rusydi, A. F., Suherman, D., Sumawijaya, N., Penelitian, P., Lipi, G., Lipi, K., & Sangkuriang, J. (2017). PENGOLAHAN AIR LIMBAH TEKSTIL MELALUI PROSES KOAGULASI – FLOKULASI DENGAN MENGGUNAKAN LEMPUNG SEBAGAI PENYUMBANG PARTIKEL TERSUSPENSI Studi Kasus : Banaran , Sukoharjo dan Lawean , Kerto Suro , Jawa Tengah TEXTILES WASTEWATER TREATMENT BY COAGULATION - FL. 105–114.
- Šima, J., & Hasal, P. (2013). Photocatalytic degradation of textile dyes in aTiO₂/UV system. *Chemical Engineering Transactions*, 32(1999), 79–84.
- Surahman, N., Hadiwidodo, M., & Rezagama, A. (2017). Pengolahan Limbah Cair Zat Warna Jenis Indigosol dan Adsorpsi Arang Batok Kelapa terhadap Parameter COD dan Warna. 6(4), 2–7.
- Tri Murniati, M. (2013). PENGOLAHAN LIMBAH BATIK CETAK DENGAN MENGGUNAKAN METODE FILTRASI-ELEKTROLISIS UNTUK MENENTUKAN EFISIENSI PENURUNAN. 12(1), 27–36.
- Tussa'adah, R. D. A. (2015). Sintesis Material Fotokatalis TiO₂ Untuk Penjernihan Limbah Tekstil. *Jurnal Fisika Unand*, 4(1), 91–96.
- Wardhani, S., Damayanti, C. A., & Purwonugroho, D. (2014). PENGARUH KONSENTRASI TiO₂ DALAM ZEOLIT TERHADAP DEGRADASI. *Kimia Student Journal*, 1(1), 8–14.
- Widyaningsih, S., Windy Dwiasi, D., & Hidayati, D. (2014). PENURUNAN KONSENTRASI ZAT WARNA DALAM LIMBAH BATIK MENGGUNAKAN MEMBRAN DARI Sargassum sp. *Molekul*, 9(2), 166.