

Sintesis Nanokomposit Berbasis Nanoselulosa-TiO₂ Untuk Pengolahan Limbah Red Base 218

(*Synthesis Nanocomposites of Nanocellulose-TiO₂ for Red Base 218 Waste Water Treatment*)

Ratnawati, Kevin Gabryelle, Muhammad Fadil Alif Ramadhan, Wahyudin,
Aniek Sri Handayani

Program Studi Teknik Kimia, Institut Teknologi Indonesia
Jl. Raya Puspitpek, Serpong, Kota Tangerang Selatan, Provinsi Banten 15320

Abstrak

Sintesis dan modifikasi nanoselulosa menjadi nanokomposit nanoselulosa-TiO₂ untuk fotodegradasi limbah zat warna tekstil *Red base 218* telah dilakukan. Bahan baku yang digunakan untuk membuat nanofiber selulosa (NFC) adalah *microfiber cellulose* (MFC) yang berasal dari tandan kosong kelapa sawit (TKKS). Pertama-tama MFC dihaluskan dengan mesin *miller*, kemudian hasilnya disaring menggunakan kertas saring ukuran 100 mikron. Hasil ini dihidrolisis menggunakan larutan H₂SO₄ 10% dengan mixer pada 900 rpm, suhu konstan 35°C selama 2 jam. Setelah proses hidrolisis, nanoselulosa *dibleaching* menggunakan H₂O₂ 5% selama 2 jam sampai mendapatkan warna putih dan dilanjutkan dengan proses pencucian sampai pH netral. Proses selanjutnya adalah pengecilan ukuran menggunakan *homogenizer* pada kecepatan 20.000 rpm selama 15 dan 20 menit. *Nanofiber cellulose* (NFC) ini selanjutnya dikompositkan dengan TiO₂ sebesar 1%, 3% dan 5% berat terhadap NFC dengan cara pegadukan dengan variasi waktu 15 dan 20 menit. Nanokomposit yang dihasilkan akan diujicobakan dalam fotodegradasi limbah tekstil red base 218 selama 3 jam. Hasil yang terbaik adalah waktu pengecilan ukuran MFC menjadi NFC 20 menit dan waktu pencampuran NFC/TiO₂ selama 20 menit dengan 3% berat TiO₂ dalam NFC.

Kata Kunci : Nanoselulosa, TiO₂, nanokomposit, *red base 218*

Abstract

Synthesis and modification of nanocellulose into nanocellulose-TiO₂ nanocomposite for photodegradation of textile dye Red base 218 wastewater has been carried out. The raw material used to make cellulose nanofibers (NFC) is microfiber cellulose (MFC) derived from oil palm empty fruit bunches (TKKS). First, the MFC was pulverized with a miller machine, then the results were filtered using 100 micron filter paper. This result was hydrolyzed using 10% H₂SO₄ solution with a mixer at 900 rpm, constant temperature 35°C for 2 hours. The next process is size reduction using a homogenizer at a speed of 20,000 rpm for 15 and 20 minutes. This cellulose nanofiber (NFC) was then composited with TiO₂ of 1%, 3% and 5% by weight against NFC by mixing with a variation of 15 and 20 minutes. The resulting nanocomposite will be tested in the photodegradation of red base 218 textile wastewater for 3 hours. The best results were the size reduction time MFC to NFC for 20 minutes and mixing time for NFC/TiO₂ for 20 minutes with 3% (w/w) of TiO₂ in NFC.

Keyword : Nanocellulose, TiO₂, nanocomposite, red base 218

*Penulis Korespondensi.

Alamat E-mail : aniek.handayani@iti.ac.id; rnwt63@yahoo.co.id

1. Pendahuluan

Dalam dekade terakhir ini, bidang nanoteknologi untuk material maju banyak diteliti. TiO₂ merupakan fotokatalis yang menjanjikan karena tidak beracun, stabil, tidak berbahaya dan murah. Aplikasi TiO₂ ini bisa sebagai fotokatalis dalam produksi H₂, degradasi polutan, *self cleaning*, pemurnian udara, air, anti mikroba dan terapi kanker. Proses ini melibatkan elektron, hole dan radikal hidroksil hasil proses fotokatalisis. Radikal hidroksil merupakan zat yang paling reaktif dan ampuh dalam membunuh mikroba.

Disisi lain, nanoselulosa (polimer organik) juga sangat diminati dalam aplikasi antibakteri karena sifat fisika, kimia dan biologinya. Material ini sangat kompatibel, stabil dan ramah lingkungan [1]. Nanoselulosa dapat diperoleh dari isolasi bahan seperti jerami, tandan kelapa sawit, batang kelapa sawit, rami dan serat. Saat ini material nanokomposit dari nanopartikel anorganik (TiO₂) dan polimer organik (nanoselulosa) mendapat perhatian besar karena menghasilkan material unggul akibat efek sinergi dari interaksi material penyusunnya. Bahan ini dapat digunakan untuk mendegradasi polutan, aplikasi antimikroba, bahan *self cleaning*, dan filtrasi membran [1-3]. Membran nanokomposit yang menggabungkan polimer dan bahan anorganik memiliki keunikan sifat. Selain itu aplikasi TiO₂ yang dikompositkan dalam nanoselulosa telah menunjukkan peningkatan sifat TiO₂ seperti memiliki stabilisasi yang lebih baik, meningkatkan sifat fotokatalitik, antibakteri dan hidrofilik. Nanoselulosa yang merupakan material berpori, merupakan kandidat yang baik sebagai bahan penyangga TiO₂. Reaksi fotokatalitik dengan permukaan yang dilapisi TiO₂ telah banyak dipelajari di banyak aplikasi. Namun, sejauh ini, penggunaan nanokomposit berbasis nanoselulosa/TiO₂ sebagai fotokatalis untuk mendegradasi limbah zat warna tekstil Red base 218 masih jarang diteliti karena senyawa ini biasanya didegradasi menggunakan metode fotokatalisis dengan TiO₂ saja, adsorpsi dan filtrasi.

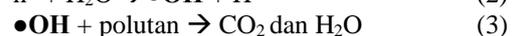
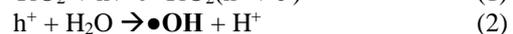
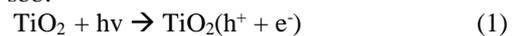
Masalah yang akan diteliti dalam riset ini adalah seberapa besar pengaruh banyaknya TiO₂ dalam nanoselulosa dan waktu pencampuran yang optimal terhadap karakteristik nanokomposit yang dihasilkan serta aplikasinya dalam photodegradasi limbah tekstil *red base 218*. Keberhasilan teknologi ini diharapkan dapat memberikan kontribusi dalam penyelesaian permasalahan lingkungan.

2. Teori Dasar

Material TiO₂

TiO₂ merupakan semikonduktor yang

mempunyai banyak aplikasi [1] dan merupakan fotokatalis yang mempunyai banyak kelebihan seperti tidak beracun, stabil, tidak berbahaya, murah dan mempunyai sifat hidrofilik [2,3]. Morfologi TiO₂ dapat berupa nanopartikel, *nanotube array*, *nanotube non array*, *nanorod* dan yang lain. Aplikasi TiO₂ ini sebagai fotokatalis dalam produksi H₂ [4,5], degradasi polutan, *self cleaning* dan untuk pemurnian udara dan air [1], antimikroba [6] dan bahkan untuk terapi kanker [2]. Proses ini melibatkan elektron, hole dan radikal hidroksil hasil proses fotokatalisis. Proses fotokatalis membutuhkan energi foton yang dapat disediakan oleh cahaya matahari. TiO₂ akan berfungsi sebagai fotokatalis jika diiluminasi dengan foton dengan energi setara atau lebih besar dari energy band gap (Eg) sehingga menyebabkan elektron (e⁻) dalam pita valensi (VB) akan berpindah ke pita konduksi (CB) dan menimbulkan hole (h⁺) pada pita valensi. Elektron ini akan mereduksi substrat (A) yang teradsorb, sedangkan hole dan radikal hidroksida (•OH) hasil reaksi hole dengan air, akan mengoksidasi substrat (D) yang teradsorb baik secara langsung maupun tidak langsung melalui pembentukan radikal hidroksida. Radikal hidroksida juga dapat merusak dinding sel bakteri dan mengoksidasi hampir semua jenis polutan organik yang teradsorb di permukaan fotokatalis. Radikal hidroksida ini merupakan zat yang paling reaktif dan ampuh dalam membunuh berbagai jenis mikroba ataupun mendegradasi limbah dengan reaksi sbb:



Nanokomposit nanoselulosa/TiO₂

Selulosa merupakan polimer organik paling umum yang biokompatibel dan ramah lingkungan. Sementara ini, nanoselulosa juga sangat diminati dalam aplikasi antibakteri karena sifat fisik, kimia dan biologi yang dimilikinya [7], dan material ini sangat stabil karena memiliki banyak gugus hidroksil. Selulosa dapat diperoleh dari isolasi bahan yang mengandung selulosa seperti jerami, gandum, tandan kosong kelapa sawit, batang kelapa sawit, rami, serat dalam bentuk limbah.

Nanoselulosa (polimer organik) juga sangat diminati dalam aplikasi antibakteri. Penggunaan lain serat selulosa berukuran nano adalah sebagai bahan filter, bahan pembungkus, perangkat elektronik, makanan, obat-obatan, kosmetik, dan perawatan kesehatan [8]. Nanoselulosa dapat diperoleh dari isolasi bahan seperti jerami, tandan kosong kelapa sawit, batang

kelapa sawit, rami dan serat. Tandan Kosong Kelapa Sawit (TKKS) terdiri dari beberapa unsur penting yang dapat diolah dan bernilai lebih. TKKS banyak digunakan sebagai sumber selulosa karena mengandung selulosa (22.5% – 25.3%), hemiselulosa (24.5% – 27.8%), air (8% – 10%), lignin (24% - 26.6 %) dan zat ekstrasi lain (14% – 16%) [9]. Selulosa yang terdapat dalam TKKS memiliki kandungan serat mencapai 72,67 % yang membuat TKKS potensial menjadi bahan baku untuk diambil selulosanya. Metode untuk memperoleh selulosa nanofiber antara lain secara kimiawi (dengan hidrolisis asam, cara oksidasi dan menggunakan pelarut organik), secara mekanik (dengan cara pencampuran/homogenisasi, mikrofluidisasi, grinding dan ultrasonikasi) ataupun dengan cara enzimatik [10].

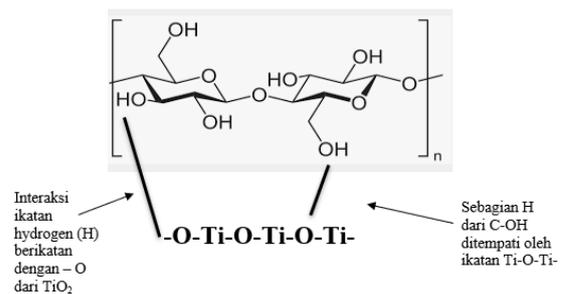
Saat ini material nanokomposit dari nanopartikel anorganik (TiO_2) dan polimer organik (selulosa) mendapat perhatian besar karena menghasilkan material unggul karena efek sinergi dari interaksi material penyusunnya [11,12]. Nanokomposit adalah bahan pada skala nano yang berinteraksi secara kimia dengan komponen lain. Bahan ini dapat digunakan untuk mendegradasi polutan [1,12,13], aplikasi antimikroba, bahan *self cleaning* [1,7], dan membran filtrasi [14,15]. Saat ini, membran nanokomposit anorganik-organik yang menggabungkan polimer (nanoselulosa) dan bahan anorganik (TiO_2) memiliki fungsi yang sangat menarik karena keunikan sifat dibandingkan dengan membran polimerik yang dibuat secara konvensional. Selain itu aplikasi nanopartikel TiO_2 yang dikompositkan dalam nanoselulosa membentuk nanokomposit TiO_2 /nanoselulosa telah menunjukkan peningkatan sifat TiO_2 seperti memiliki stabilitas yang baik, meningkatkan sifat fotokatalitik dan antibakteri, meningkatkan sifat hidrofiliknya serta anti-fouling [12]. Nanoselulosa yang merupakan bahan yang sangat berpori, merupakan kandidat yang baik sebagai bahan penyangga dari TiO_2 . Ikatan kovalen antara nanopartikel TiO_2 dan rantai selulosa membentuk nanokomposit yang kompatibel yang dapat meningkatkan kekakuan rantai polimer. Gambar 1 memberikan ilustrasi interaksi antar muka yang kuat antara rantai nanoselulosa dan TiO_2 [12].

Nanokomposit TiO_2 /nanoselulosa sebagai fotokatalis untuk mendegradasi limbah tekstil Red base 218.

Sejauh ini, penggunaan nanokomposit berbasis TiO_2 /nanoselulosa sebagai fotokatalis dalam mendegradasi limbah zat warna tekstil Red base 218 masih jarang diteliti. Pencampuran antara sol TiO_2 nanopartikel dengan

nanoselulosa dari tandan kosong kelapa sawit menghasilkan nanokomposit yang memiliki kemampuan untuk mendegradasi limbah. Fotodegradasi oleh TiO_2 disebabkan oleh proses oksidasi polutan yang ada dalam limbah dengan radikal $\bullet\text{OH}$. Radikal hidroksida ini akan bereaksi dengan polutan sehingga menghasilkan CO_2 dan H_2O .

Nanokomposit yang terdiri dari nanopartikel anorganik dan polimer organik telah dipelajari oleh peneliti sebelumnya dengan metode sol gel dan inversi untuk degradasi fenol [15], metode ultrasonik untuk degradasi asam metanamik [4] dan metode blending untuk ultrafiltrasi [5]. Menurut studi pustaka, aplikasi nanokomposit berbasis nanoselulosa/ TiO_2 untuk pengolahan limbah zat warna tekstil Red base 218 belum pernah dilakukan. Dalam studi ini, dipelajari sintesis nanoselulosa dari tandan kosong kelapa sawit (TKKS) yang dikompositkan dengan TiO_2 untuk aplikasi degradasi limbah Red base 218. Dipilihnya TKKS sebagai sumber selulosa karena Indonesia merupakan salah satu produsen kelapa sawit yang terbesar.



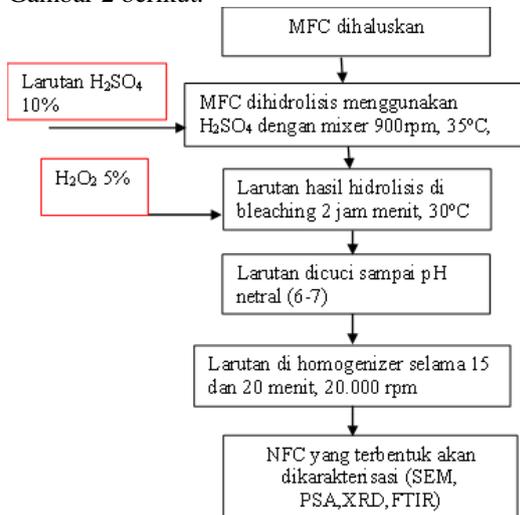
Gambar 1. Ilustrasi skema interaksi antara gugus hidroksil nanoselulosa dan nanopartikel TiO_2 dalam membran nanokomposit [12].

3. Metodologi

Sintesis Nanokomposit

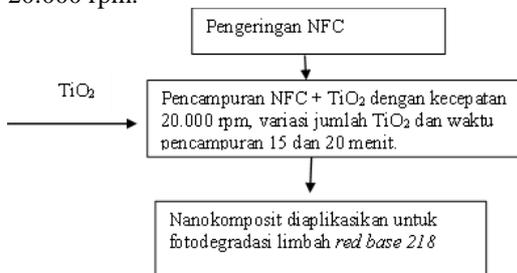
Sintesis nanofiber cellulose (NFC) atau serat selulosa berukuran nanometer dilakukan dengan proses hidrolisis microfibril cellulose (MFC) menggunakan larutan asam sulfat (H_2SO_4) 10% dimana konsentrasi ini merupakan hasil optimal dari penelitian sebelumnya [16]. Proses hidrolisis ini dilakukan dalam labu yang diaduk dengan kecepatan 900 rpm selama 2 jam pada 35°C . Setelah dilakukan proses hidrolisis asam, proses selanjutnya adalah *bleaching* menggunakan larutan H_2O_2 5%, 30°C selama 2 jam. Proses ini bertujuan untuk mendegradasi lignin tersisa dan menghilangkan senyawa kimia lainnya selain selulosa. Proses *bleaching*

dilakukan di atas *magnetic stirrer*. Setelah dilakukan proses *bleaching* maka serat hasil proses tersebut di netralkan dengan aquadest hingga pH ±7 (normal) [17]. Diagram alir pembuatan NFC dari MFC dapat dilihat pada Gambar 2 berikut.



Gambar 2. Diagram Alir Pembuatan Nanofiber Selulosa(NFC)

Untuk pembuatan komposit Nanoselulosa/TiO₂ dimulai dengan pencampuran NFC dengan TiO₂ dengan variasi berat TiO₂ terhadap NFC (1, 3 dan 5% berat) dan waktu pencampuran 15 dan 20 menit pada 20.000 rpm.

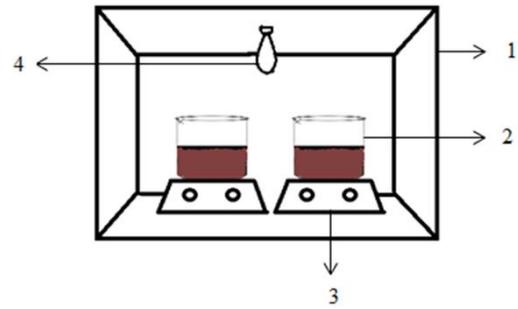


Gambar 3. Diagram alir pembuatan nanokomposit nanoselulosa-TiO₂

Aplikasi Fotokatalis pada Limbah Zat Warna Base Red 218

Nanokomposit yang mengandung 1, 3, 5 % TiO₂ terhadap berat kering NFC dimasukkan ke dalam reaktor yang terisi limbah zat warna tekstil. Reaktor ini berada dalam *reflector box* yang dilengkapi lampu merkuri. Reaktor dilengkapi dengan *magnetic stirrer* yang dinyalakan selama uji kinerja agar reaksi dapat berlangsung homogen. Uji degradasi dilakukan selama 1, 2, dan 3 jam dengan konsentrasi awal zat warna Base Red 218 sebesar 20 ppm dengan proses pengadukan menggunakan *magnetic stirrer* pada kecepatan 500 rpm. Skema gambar reaktor bisa

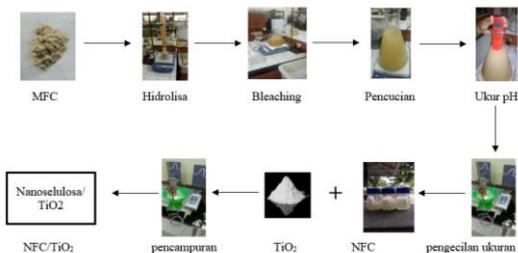
dilihat seperti berikut.



Gambar 4. Fotoreaktor: 1. Reflektor box, 2. Gelas beaker berisi limbah, 3.pengaduk magnetik, 4. lampu merkuri sebagai sumber foton.

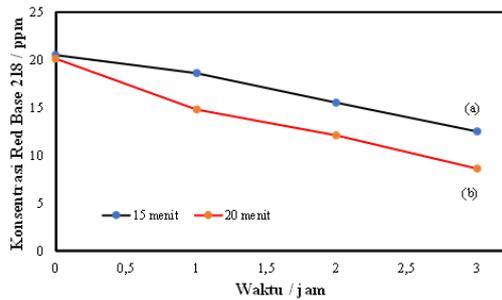
4. Hasil dan Pembahasan

Tapahan serta produk yang dihasilkan dalam sintesis NFC dari MFC dapat dilihat pada gambar 5 berikut ini.



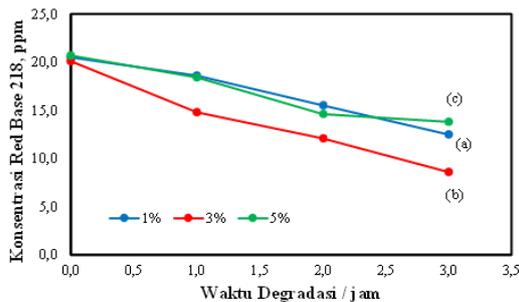
Gambar 5. Tahapan pembuatan NFC dari NFC/TiO₂

H₂SO₄ pada proses hidrolisa digunakan untuk mengisolasi selulosa dari senyawa lain yang terkandung dalam MFC dari TKKS. Asam ini berfungsi juga untuk memutus rantai panjang MFC menjadi polimer rantai pendek. Dari tahapan tersebut maka produk NFC yang dihasilkan akan digunakan untuk mendegradasi larutan *red base 218*. Untuk mengetahui bahwa NFC telah berukuran nano, semestinya dilakukan karakterisasi PSA dan TEM. Namun dalam penelitian ini masih menunggu hasilnya. Oleh sebab itu untuk mengetahui apakah NFC berukuran nano, maka dilakukan pengamatan fisik dimana NFC yang dihasilkan tidak mengendap dalam larutan namun terus melayang walau ditiadakan dalam jangka waktu yang lama. Dalam hal ini, pengecilan ukuran selama 20 menit memberikan hasil NFC yang menyebar/melayang dan terdispersi dengan baik dalam larutan.



Gambar 6. Grafik hubungan antara konsentrasi Red base 218 terhadap waktu degradasi dengan variasi lamanya pengadukan

Gambar 6 menunjukkan hasil penurunan konsentrasi Red base 218 terhadap waktu degradasi dengan variasi lamanya pengadukan pada pembuatan NFC dan pada pembuatan komposit NFC/TiO₂. Dari grafik terlihat bahwa waktu pengadukan 20 menit memberikan penurunan konsentrasi yang lebih cepat dibandingkan dengan waktu pengadukan 15 menit. Hal ini disebabkan karena semakin lama pengadukan maka NFC yang terbentuk semakin kecil ukurannya. Demikian juga semakin lama waktu pengadukan dalam pembuatan komposit NFC/TiO₂ maka semakin banyak TiO₂ yang berikatan dengan NFC sehingga akan menghasilkan nanokomposit yang lebih baik. Semakin kecil ukuran NFC, semakin besar luas permukaan yang bisa berikatan dengan TiO₂ yang berdampak pada pengurangan konsentrasi limbah Red base 218 yang semakin besar.



Gambar 7. Grafik hubungan antara konsentrasi Red base 218 terhadap waktu degradasi dengan variasi jumlah TiO₂ dalam NFC

Dari Gambar 7 terlihat bahwa konsentrasi TiO₂ 3% berat terhadap berat NFC memberikan penurunan konsentrasi Red base 218 yang paling besar. Semakin besar konsentrasi TiO₂ sampai 3% berat, maka semakin besar juga pengurangan konsentrasi Red base 218 yang terdegradasi karena semakin banyak radikal hidroksil yang mengoksidasi Red base 218. Namun pada 5% berat TiO₂ dalam NFC, pengurangan konsentrasi Red base 218 mengalami penurunan. Hal ini

disebabkan karena semakin banyak TiO₂ dalam larutan maka larutan menjadi lebih kental/keruh sehingga penetrasi foton dalam larutan menjadi lebih sedikit. Dengan demikian reaksi fotokatalisis menjadi berkurang. Kemungkinan lain adalah semakin besar TiO₂ yang ada akan mengakibatkan pusat rekombinasi electron-hole hasil fotokatalisis [12,13] yang berakibat menurunnya radikal hidroksil yang mengoksidasi limbah Red base 218.

Hasil lain yang belum didapatkan adalah analisis TEM/SEM/EDX, PSA, FTIR, XRD untuk NFC maupun nanokomposit NFC/TiO₂. Analisis tersebut digunakan untuk mengetahui morfologi, elemental komposisi, ukuran nanokomposit, gugus fungsi yang terbentuk, serta struktur kristal dari NFC dan NFC-TiO₂ untuk membuktikan apakah TiO₂ sudah terkompisit dalam NFC.

5. Kesimpulan dan Saran

Pada penelitian ini telah dilakukan sintesis nanokomposit nanoselulosa/TiO₂ yang digunakan untuk aplikasi pengolahan limbah zat warna tekstil Red base 218. Beberapa kesimpulan yang diperoleh adalah: Waktu pengadukan mempengaruhi besarnya penurunan konsentrasi limbah. Hasil terbaik pada penelitian ini adalah 20 menit karena terjadi penurunan konsentrasi limbah Red base 218 yang lebih besar dibandingkan dengan yang 15 menit. Banyaknya TiO₂ dalam nanokomposit juga mempengaruhi besarnya penurunan konsentrasi limbah. Hasil terbaik adalah 3% berat TiO₂ dalam NFC karena memberikan penurunan konsentrasi limbah Red base 218 yang paling besar. Perlu dilakukan analisis FTIR, TEM, XDR dan Particle Size Analyzer (PSA) untuk NFC dan NFC-TiO₂ untuk memperkuat hasil dari penurunan konsentrasi Red base 219. Hasil ini akan digunakan untuk membuktikan bahwa TiO₂ telah terkompisit dengan NFC.

Ucapan Terimakasih

Pada kesempatan ini penulis mengucapkan terimakasih kepada Pusat Riset dan Pengabdian Masyarakat (PRPM) ITI dan juga kepada PT. Mandiri Palmera Agrindo atas bantuan pendanaan untuk berlangsungnya penelitian ini.

Daftar Pustaka

[1] Jian Zeng, Shilin Liu, Jie Cai, and Lina Zhang. (2010). TiO₂ Immobilized in Cellulose Matrix for Photocatalytic Degradation of Phenol under Weak UV Light Irradiation. *Journal of Physical Chemistry*, 114, 7806-7811.

- [2] Ratnawati, Jarnuzi Gunlazuardi, Slamet. (2015). Development of titania nanotube arrays: The roles of water content and annealing atmosphere. *Materials Chemistry and Physics*, 160, 111-118.
- [3] Abdul Wahab Jatoi, Ick-Soo Kim, Ick-Soo Kim. (2018). Cellulose acetate nanofibers embedded with AgNPs anchored TiO₂ nanoparticles for long term excellent antibacterial applications. *Carbohydrate Polymers*, 207.
- [4] Ratnawati, Jarnuzi Gunlazuardi, Eniya Listiani Dewi, Slamet. (2014). Effect of NaBF₄ addition on the anodic synthesis of TiO₂ nanotube arrays photocatalyst for production of hydrogen from glycerol water solution. *International Journal of Hydrogen Energy*, 39(30), 16927-16935.
- [5] Slamet, Ratnawati, Jarnuzi Gunlazuardi, Eniya Listiani Dewi. (2017). Enhanced photocatalytic activity of Pt deposited on titania nanotube arrays for the hydrogen production with glycerol as a sacrificial agent. *International Journal of Hydrogen Energy*, 42(32), 24014-24025.
- [6] R. Portela and M. D. Hernandez-Alonso. (2013). Environmental Applications of Photocatalysis : Design of Advanced Photocatalytic. *Materials for Energy and Environmental Applications*, 35-66.
- [7] R. K. Mishra, A. Sabu dan S. K. Tiwari, "Materials chemistry and the futurist eco-friendly applications of nanocellulose: Status and prospect," *Journal of Saudi Chemical Society*, p. 9, 2018.
- [8] Erwinsyah, A. Afriani dan T. Kardiansyah, "Potensi dan Peluang Tandan Kosong Sawit Sebagai Bahan Baku Pulp dan Kertas: Studi Kasus di Indonesia," *Jurnal Selulosa* Vol.5, p. 79, 2015.
- [9] H. Kargarzadeh, M. Ioelovich, I. Ahmad, S. Thomas dan A. Dufresne, "Methods for Extraction of Nanocellulose from Various Sources," *Journal of Nanocellulose*, pp. 13-17, 2017.
- [10] Gil Alberto Batista Gonçalves. (2007). Synthesis and characterization of TiO₂/cellulose nanocomposites. Masters Thesis, Universidade de Aveiro, Departamento de Química,.
- [11] Mohamad Azuwa Mohamed, W.N.W. Salleh, Juhana Jaafar, A.F. Ismail, Muhazri Abd Mutalib, N.A.A. Sani et al., (2015). Physicochemical Characteristic of Regenerated Cellulose/N-Doped TiO₂ Nanocomposite Membrane Fabricated From Recycled Newspaper with Photocatalytic Activity under UV and Visible Light Irradiation. *Chemical Engineering Journal*, 1-49.
- [12] Manali Rathoda, Pareshkumar G. Moradeeyab, Soumya Haldarc, Shaik Bashab. (2018). Nanocellulose/TiO₂ composites: Preparation, characterization and application in photocatalytic degradation of a potential endocrine disruptor mefenamic acid, from aqueous media. *Photochemical & Photobiological Sciences*, 1-25.
- [13] Satya Deepika Neelapala, Abhinav K. Nair & P. E. Jagadeesh Babu. (2017) Synthesis and characterisation of TiO₂ nanofibre/cellulose acetate nanocomposite ultrafiltration membrane. *Journal of Experimental Nanoscience*, 12(1), 152-165.
- [14] Vahid Vatanpour, Sayed Siavash Madaeni, Ali Reza Khataee, Ehsan Salehi, Sirus Zinadini, Hossein Ahmadi Monfared (2012). TiO₂ embedded mixed matrix PES nanocomposite membranes : Influence of different sizes and types of nanoparticles on antifouling and performance. *Desalination*, 292, 19-29.
- [15] Nathaniel Sutjiono, Ikhsan Putra, Julastri Pasaribu, Aniek Sri Handayani (2020). Pembuatan Nanofiber Selulosa dari TKKS dengan Metode Hidrolisis Asam. *TECHNOPEX-2020 Institut Teknologi Indonesia*, ISSN: 2654-489X, 139-144.
- [16] Dong, "Effect of Microcrystallite preparation Condition on the Formation of Colloid Crystals OF Cellulose, vol, pp. 19-32,," 1998.
- [17] Wiwin Rewini Kunusa, Ishak Isa, Lukman AR Laliyo, Hendrik Iyabu. FTIR, XRD and SEM Analysis of Microcrystalline Cellulose (MCC) Fibers from Corn corbs in Alkaline Treatment. *Journal of Physics: Conference Series*. 2018 doi :10.1088/1742-6596/1028/1/012199.
- [18] NL. H. Saputri dan R. Sukmawan,

“Pengaruh Proses Blending dan Ultrasonikasi terhadap Struktur Morfologi Ekstrak Serat Limbah Batang Kelapa Sawit untuk Bahan Baku Bioplastik (selulosa asetat),”*Rekayasa*, vol. I, pp. 15-21, 2020.

- [19] J. Pangau, H. Sangian dan B. Lumi, “Karakterisasi Bahan Selulosa Dengan Iradiasi Pretreatment Gelombang Mikro Terhadap Serbuk Kayu Cempaka Wasian (*Elmerillia Ovalis*) Di Sulawesi Utara,” *MIPA Unsrat*, pp. 53-58, 2017.