

## **APIKASI FOTODEGRADASI NANOKOMPOSIT ARANG AKTIF TANDAN KOSONG KELAPA SAWIT/TIO<sub>2</sub> TERHADAP LIMBAH CAIR KELAPA SAWIT**

**PUJI WAHYUNINGSIH**

*Program Studi Kimia, Universitas Samudra, Langsa, Indonesia<sup>1</sup>  
Puji.chemistry@gmail.com*

**RAHMAWATI**

*Program Studi Fisika, Universitas Samudra, Langsa, Indonesia<sup>2</sup>  
watusman@gmail.com*

**NITRA YULIUS**

*Program Studi Fisika, Universitas Samudra, Langsa, Indonesia<sup>3</sup>  
Nitra.physic@gmail.com*

**Abstract:** The one effort to recycle palm oil liquid waste were using activated carbon / TiO<sub>2</sub> nanocomposite by photodegradation-adsorption method. The adsorption-photodegradation method is based on the process of adsorbing organic compounds by the surface of solids which at once is capable of degrading organic compounds. The aim of study to test the performance of activated carbon nanocomposite / TiO<sub>2</sub> to degrading palm oil liquid waste. The activated carbon / TiO<sub>2</sub> were characterized using XRD and SEM spectrophotometer and then photodegradation activities was detected from sample of activated carbon / TiO<sub>2</sub> under sunlight using BOD value parameter. The result of X-ray diffractogram showed that TiO<sub>2</sub> nanoparticles sizes is 79.6 nm, and it can be assumed that the particle is single crystalline. SEM photo analysis showed the morphology of TiO<sub>2</sub> particles are white clump with non-uniform size that spreading on the surface of activated carbon. The results of photodegradation activity test showed that the activated carbon / TiO<sub>2</sub> nanocomposite can be decreased the BOD value of the palm oil liquid waste through the photodegradation-adsorption mechanism. The BOD values of the activated carbon / TiO<sub>2</sub> sample were Sample A (45.30 mg / L); Sample B (67.65 mg / L), Sample C (22.95 mg / L), Sample D (22.95 mg / L), Sample E (0.60 mg / L) respectively.

**Keyword :** Activated carbon, TiO<sub>2</sub>, photodegradation , empty bunches of palm oil

**Abstrak:** Salah satu upaya yang dapat dilakukan untuk mengolah limbah cair kelapa sawit adalah menggunakan nanokomposit karbon aktif/TiO<sub>2</sub> dengan metode adsorpsi-fotodegradasi. Metode adsorpsi-fotodegradasi didasarkan pada proses adsorpsi senyawa organik oleh permukaan padatan yang sekaligus mampu mendegradasi senyawa organik. Pada penelitian ini bertujuan untuk

menguji kinerja nanokomposit karbon aktif/TiO<sub>2</sub> dalam mendegradasi limbah cair kelapa sawit. Karbon aktif/ TiO<sub>2</sub> hasil sintesis dikarakterisasi menggunakan spektrofotometer XRD dan SEM kemudian dilanjutkan pengujian aktivitas fotodegradasi dari sampel karbon aktif/ TiO<sub>2</sub> dibawah sinar matahari dengan parameter nilai BOD. Hasil difraktogram sinar-X menunjukkan bahwa nanopartikel TiO<sub>2</sub> memiliki ukuran kristalit sebesar 79,6 nm sehingga dapat diasumsikan bahwa partikel tersebut bersifat single kristal. Analisis foto SEM memperlihatkan morfologi partikel TiO<sub>2</sub> berupa gumpalan putih yang tersebar tidak merata dipermukaan karbon aktif yang berbentuk batangan berpori dengan ukuran yang tidak seragam. Hasil pengujian aktivitas fotodegradasi menunjukkan bahwa nanokomposit karbon aktif/ TiO<sub>2</sub> mampu menurunkan nilai BOD dari limbah cair kelapa sawit melalui mekanisme adsorpsi-fotodegradasi. Nilai BOD dari sampel karbon aktif/ TiO<sub>2</sub> secara berurutan adalah sebagai berikut Sampel A (45,30 mg/L); Sampel B (67,65 mg/L), Sampel C (22,95 mg/L), Sampel D (22,95 mg/L) dan Sampel E (0,60 mg/L).

Kata Kunci: karbon aktif, TiO<sub>2</sub>, fotodegradasi, tandan kosong kelapa sawit

## 1. Pendahuluan

Industri pengolahan kelapa sawit merupakan salah satu agro industri yang berkembang pesat di Indonesia khususnya di Provinsi Aceh. Berdasarkan data dari Pusat Informasi Kelapa Sawit (2012), wilayah Aceh mampu menyumbang hasil komoditas sawit yang bisa mencapai 423.826 ton dari luas areal tanaman rata-rata 31.559 Ha (meliputi Aceh timur 16.753 Ha, Aceh Tamiang 19.611 Ha, dan Kota langsa 375 Ha). Dengan luasnya areal perkebunan kelapa sawit tersebut maka industri pengolahan yang berbasis kelapa sawit pun menjadi investasi yang relatif menguntungkan. Namun dibalik potensi tersebut, terdapat suatu konsekuensi lain yang perlu diperhatikan yaitu beban pencemaran yang ditimbulkan bila tidak dilaksanakan dengan baik. Hampir semua pabrik kelapa sawit mempunyai kelemahan dalam hal penanganan limbahnya, baik terhadap limbah padat (23% dari satu ton buah segar ) ataupun limbah cair (50% dari satu ton buah segar). *Effluent* (hasil akhir yang dibuang ke alam) dari instalansi pengolahan limbah cair dari pabrik-pabrik kelapa sawit umumnya masih belum memenuhi kriteria sesuai standar peraturan yang berlaku (Petrus, 2009).

Berdasarkan hasil penelitian terdahulu telah dilakukan beberapa upaya pengolahan limbah yaitu dengan metode adsorpsi menggunakan karbon aktif. Namun, penggunaan karbon aktif memiliki kelemahan yaitu kemampuan selektifitasnya yang rendah

terutama untuk limbah cair yang bersifat kompleks. Adapun metode lain yang juga telah diteliti yaitu dengan metode fotodegradasi menggunakan titanium dioksida (TiO<sub>2</sub>). Namun metode ini juga memiliki kelemahan yaitu ketersediaan TiO<sub>2</sub> di alam yang sangat terbatas sehingga tidak dapat digunakan dalam skala besar. Salah satu alternatif yang dapat dilakukan adalah melalui gabungan metode adsorpsi-fotodegradasi. Metode adsorpsi-fotodegradasi didasarkan pada proses adsorpsi senyawa organik oleh permukaan padatan yang sekaligus mampu mendegradasi senyawa organik. Degradasi sempurna menghasilkan karbondioksida dan air yang aman bagi lingkungan.

Oksida logam titanium (TiO<sub>2</sub>) merupakan material semikonduktor yang aktif dalam mendegradasi polutan. Aktivitas fotodegradasi TiO<sub>2</sub> dapat ditingkatkan melalui penyesuaian pada material pendukung atau substrat. Salah satu substrat yang bisa digunakan untuk substrat tersebut adalah karbon aktif. Karbon aktif yang dimanfaatkan merupakan karbon aktif dari tandan kosong kelapa sawit. Pembuatan karbon aktif tandan kosong telah diteliti oleh penelitian sebelumnya (Devi, *et al*;2011, Alam, *et al*; 2007, Wahi, *et al*; 2009). Beberapa keuntungan yang diharapkan dari penyesuaian TiO<sub>2</sub> pada karbon aktif tandan kosong kelapa sawit antara lain harganya yang murah, mudah di dapat, dan selektivitas terhadap molekul senyawa organik dan logam berat pada permukaan katalis. Material TiO<sub>2</sub> yang tergabung pada karbon aktif menjadi sebuah material nanokomposit yang memiliki multifungsi yaitu sebagai adsorben dari sifat karbon aktif yang berpori, sebagai fotodegradasi dan menghasilkan material yang lebih efektif dan efisien (Ming, *et al*;1999, Yong,2006).

Berdasarkan latar belakang tersebut, penelitian ini bertujuan menguji kinerja nanokomposit TiO<sub>2</sub>/karbon aktif dari tandan kosong kelapa sawit untuk mendegradasi limbah cair kelapa sawit. Parameter yang digunakan dalam pengujian adalah angka BOD (*Biological Oxygen Demand*).

## 2. Metode

### Bahan

Bahan yang digunakan dalam penelitian ini adalah Tandan Kosong Kelapa Sawit dari PKS Aramiah, Titanium Isopropoxide, Triethanolamine, NaOH, Akuades, Metanol, Resin PVDF (*Polyvinylidene Flouride*), Acrylic, kertas saring, dan limbah cair kelapa sawit.

### Pembuatan Karbon Aktif dari Tandan Kosong Kelapa Sawit (TKKS)

Preparasi karbon aktif dari TKKS dilakukan dengan cara memisahkan kotoran-kotoran (kerikil, tanah) yang menempel pada TKKS dengan cara dicuci. Kemudian, sebanyak 10 kg sampel tandan kosong kelapa sawit dikeringkan di dalam oven pada temperatur 110 °C selama 24 jam untuk menghilangkan kandungan air sampai mencapai berat konstan. Sampel yang sudah dibersihkan di karbonasi menggunakan *furnace* pada temperatur  $\pm 700$  °C selama  $\pm 1$  jam agar sampel menjadi arang/karbon. Arang yang sudah terbentuk ditumbuk/digiling dengan grinder sampai halus kemudian diayak dengan ayakan 60 mesh (Rahmalia, 2009). Selanjutnya karbon aktif yang diperoleh dikarakterisasi menggunakan spektrometer FTIR.

### Sintesis Nanopartikel TiO<sub>2</sub>

Sintesis TiO<sub>2</sub> dapat dilakukan menggunakan metode sol gel (Shahini, dkk, 2011; Chen, Xiaobo, dan Samuel S. Mao. 2007). Pertama, larutan Ti<sup>4+</sup> dibuat dengan mencampurkan titanium isopropoxide dengan triethanolamine (1:2), kemudian ditambahkan akuades untuk membuat larutan 0,5 M Ti<sup>4+</sup>. pH larutan selanjutnya ditingkatkan dengan cara menambahkan larutan NaOH hingga pH mencapai 9,6. Larutan yang telah diperoleh dipanaskan dalam oven dengan temperatur 100°C selama 24 jam. Setelah 24 jam suhu dinaikkan menjadi 140°C ditahan selama 72 jam dan didinginkan hingga mencapai suhu ruang. TiO<sub>2</sub> yang telah disintesis dikarakterisasi menggunakan spektrofotometer XRD.

### Pelapisan (Coating) TiO<sub>2</sub> pada Karbon Aktif

Resin *latex waterborne* PVDF dan acrylic (50%:50%)

dengan *solid content* 50% dipilih sebagai matriks polimer. Sebanyak 2% suspensi TiO<sub>2</sub> dicampur pada resin PVDF/acrylic hingga tidak terjadi endapan campuran keduanya (Chen, Changfengdkk, 2014). Selanjutnya, campuran TiO<sub>2</sub>/resin (emulsi *coating TiO<sub>2</sub>*) dapat dideposisikan pada substrat berupa karbon aktif tandan kosong kelapa sawit. Hasil coating dicuci dengan aquades kemudian disaring dan hasil endapan dikeringkan dalam oven pada temperatur 100<sup>0</sup> C selama 1 jam. Selanjutnya hasil coating yang diperoleh dilakukan uji analisis SEM.

### **Pengujian Aktivitas Fotodegradasi**

Pengujian aktivitas fotodegradasi nanokomposit karbon aktif/TiO<sub>2</sub> dilakukan dengan cara memasukkan 100 mL limbah cair kelapa sawit pada dasar wadah yang dilapisi dengan nanokomposit TiO<sub>2</sub>/karbonAktif kemudian disinari dengan matahari dengan lama paparan yaitu 1, 3, dan 5 jam. Sampel limbah cair kelapa sawit tersebut kemudian dianalisis kandungan BOD.

## **3. Hasil dan Pembahasan**

### **a. Karakterisasi Nanokomposit Karbon aktif/ TiO<sub>2</sub>**

#### **Karakterisasi dengan metode difraksi sinar-X**

Hasil analisis nanopartikel TiO<sub>2</sub> dengan metode difraksi sinar-X dapat dilihat pada Gambar 1. Pola XRD ini sesuai dengan data JCPDS No. 96-900-9087 dan juga dijadikan sebagai acuan. Dari grafik terlihat bahwa peak tertinggi 2 θ terdapat pada sudut 25,31<sup>0</sup> dan sudut 47,93<sup>0</sup>.

Besarnya ukuran kristalit yang terbentuk dapat dihitung dengan menggunakan Persamaan Debye –Scherer sebagai berikut:

$$D = \frac{0,9 \lambda}{\beta \cos \theta} \quad (1)$$

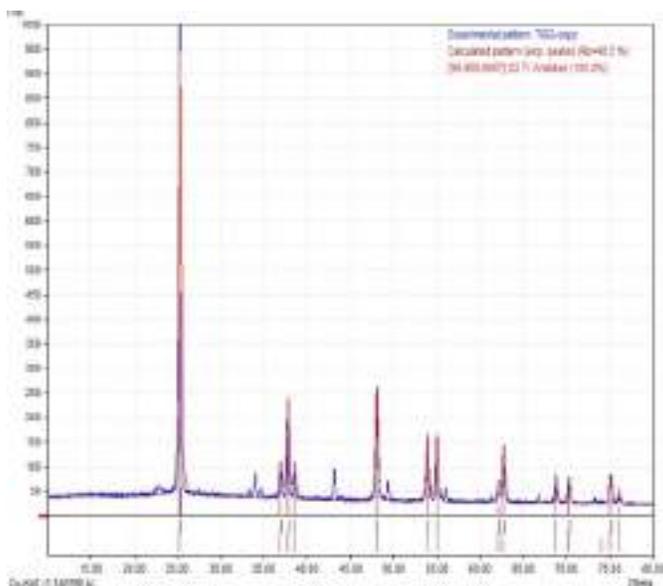
$$2d \sin \theta = n \lambda \quad (2)$$

Dimana λ adalah panjang gelombang X-Ray (CuKα=1,5418), β adalah FWHM (*full width at half maximum*), dan θ merupakan sudut difraksi, dan D adalah ukuran kristalit, berdasarkan persamaan tersebut maka dapat dihitung ukuran kristalit seperti yang disajikan dalam Tabel 1.

Tabel 1. Ukuran kristalit nanopartikel TiO<sub>2</sub>,

2θ	θ	cos θ	λ (nm)	K	FWHM	FWHM (rad)	D (Å)	D (nm)
25,31	12,66	0,98	1,54	0,9	0,20	0,0018	795,63	79,60

Berdasarkan data diatas diperoleh bahwa ukuran kristalit sebesar 79,6 nanometer, hal ini dapat diasumsikan bahwa partikel tersebut bersifat *single* kristal.



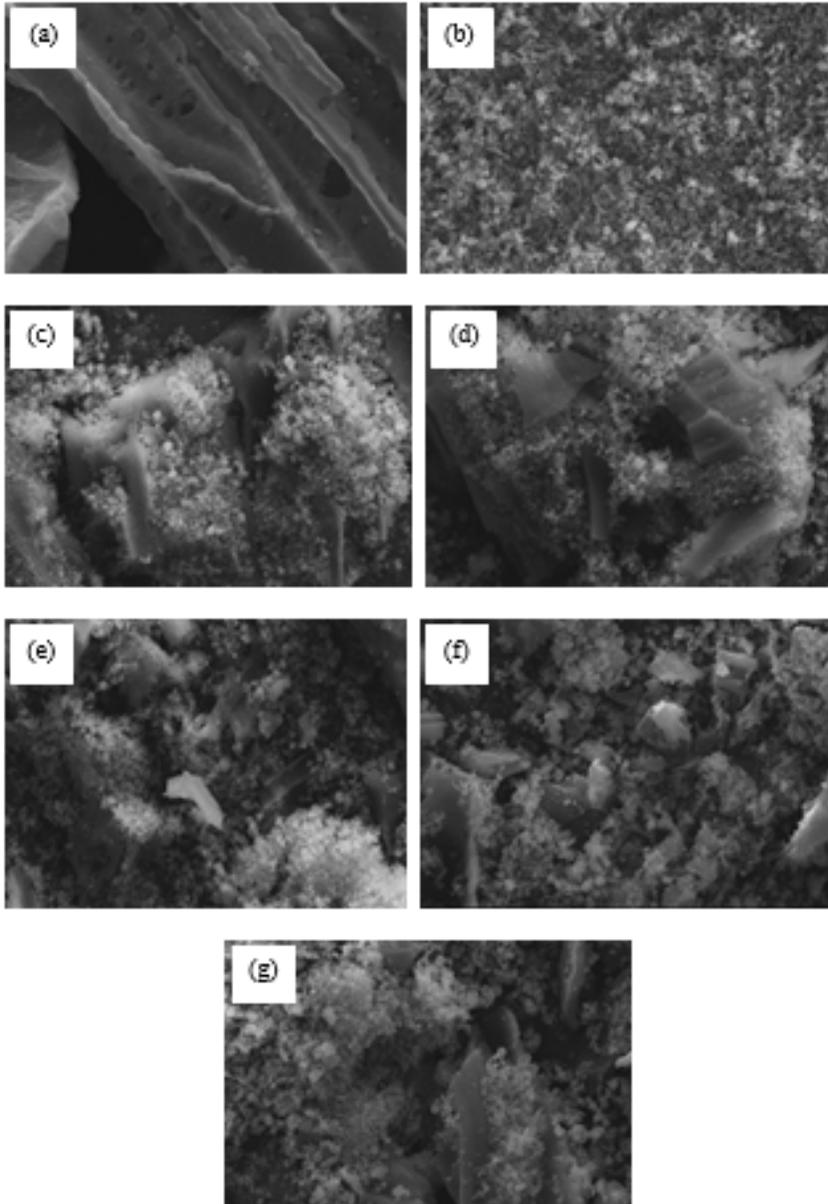
Gambar 1. Difraktogram sinar-X nanopartikel TiO<sub>2</sub>

### Analisis morfologi struktur dengan metode SEM

Hasil analisis SEM dari TiO<sub>2</sub>, karbon aktif, dan sampel karbon aktif/TiO<sub>2</sub> (Sampel A; Sampel B; Sampel C; Sampel D dan sampel E ) diperlihatkan pada Gambar 2 (a,b,c,d,e,f, dan g) dibawah ini. Berdasarkan Gambar (2.a) merupakan gambar analisis SEM TiO<sub>2</sub> murni dengan perbesaran 50000x. Dari hasil SEM tersebut terlihat bahwa partikel-partikel TiO<sub>2</sub> menumpuk sesamanya sehingga terlihat seperti gumpalan putih dengan ukuran yang tidak seragam. Gambar (2.b) merupakan gambar SEM dari karbon aktif dengan

perbesaran 50000x. Dari Gambar SEM tersebut terlihat bahwa karbon aktif berbentuk batangan berwarna putih dan memiliki pori.

Gambar 2 (c,d,e,f, dan g) merupakan gambar analisis SEM dari karbon aktif/TiO<sub>2</sub> dengan variasi (Sampel A; Sampel B; Sampel C; Sampel D dan sampel E). Secara keseluruhan gambar SEM dari karbon aktif/TiO<sub>2</sub> dengan berbagai variasi menunjukkan bahwa partikel TiO<sub>2</sub> menempel dan menyebar secara tidak merata dipermukaan karbon aktif. Dengan bertambahnya partikel karbon aktif dalam sampel karbon aktif/TiO<sub>2</sub> menyebabkan penggumpalan antara sesama partikel-partikel TiO<sub>2</sub> terhalang. Karbon aktif dapat menghalangi penumpukan yang terjadi pada sesama partikel TiO<sub>2</sub>. Adanya penumpukan partikel TiO<sub>2</sub> diasumsikan menyebabkan luas permukaan partikel TiO<sub>2</sub> sehingga akan meningkatkan aktivitas fotokatalitik TiO<sub>2</sub>.



Gambar 2. Hasil analisis SEM (a) Karbon aktif, (b.) TiO<sub>2</sub>,(c.) Sampel A, (d.) Sampel B, (e.) Sampel C, (f.) Sampel D,(g) Sampel E pada perbesaran 5000 kali.

## Pengujian Aktivitas Fotodegradasi Nanokomposit Karbon aktif/TiO<sub>2</sub> terhadap Limbah Cair Kelapa sawit

Parameter yang menjadi salah satu indikator kontrol untuk pembuangan limbah cair adalah angka *Biological Oxygen Demand*(BOD). Angka BOD atau kebutuhan oksigen biokimia merupakan jumlah oksigen yang dibutuhkan oleh mikroorganisme di dalam lingkungan air untuk memecah atau mendegradasi ataupun mengoksidasi bahan organik yang ada didalam limbah.

Tabel 2. Hasil Analisis seluruh sampel menurut SNI 6989-72-2009

Sampel	Kandungan BOD (mg/L)
Limbah Kosong	45,30
Karbon aktif	0,60
TiO <sub>2</sub>	22,95
Sampel A	45,30
Sampel B	67,65
Sampel C	22,95
Sampel D	22,95
Sampel E	0,60

Semakin tinggi kandungan bahan organik dalam limbah cair maka semakin banyak oksigen yang dibutuhkan oleh mikroba untuk menguraikan senyawa organik tersebut. Hasil analisis BOD karbon aktif, TiO<sub>2</sub>, sampel karbon aktif/TiO<sub>2</sub> (Sampel A; Sampel B; Sampel C; Sampel D dan sampel E) menurut SNI 6989-72-2009 diperlihatkan pada Tabel 2. Berdasarkan itu dapat dilihat bahwa hasil analisis BOD seluruh sampel baik itu limbah cair kelapa sawit, karbon aktif, TiO<sub>2</sub>, sampel karbon aktif/TiO<sub>2</sub> masih berada dibawah ambang batas baku mutu limbah cair kelapa sawit yaitu 100 ppm. Jadi, limbah cair tersebut masih layak untuk dibuang disungai dan tidak mencemari mikroorganisme di dalam lingkungan sungai

tersebut.

Adanya efek fotodegradasi yang dihasilkan oleh sampel karbon aktif/TiO<sub>2</sub> mampu menurunkan nilai BOD dari limbah cair kelapa sawit. Hal ini ditunjukkan dengan semakin menurunnya nilai BOD dari 45,30 mg/L menjadi 0,60 mg/L seiring berkurangnya komposisi TiO<sub>2</sub> didalam sampel. Pada sampel B terjadi peningkatan nilai BOD dibandingkan nilai BOD limbah kosong yaitu 67,65 mg/L. Hal ini terjadi dikarenakan jumlah persentase sampel karbon aktif/TiO<sub>2</sub> yang dalam limbah dalam skala kecil sehingga mengakibatkan jumlah situs aktif yang berada dipermukaan karbon aktif tidak maksimal dalam mengadsorpsi bahan organik sehingga terjadi peningkatan nilai BOD. Berdasarkan data perbandingan jumlah karbon aktif dan TiO<sub>2</sub> yang terdapat dalam sampel diasumsikan bahwa jumlah karbon aktif minimum yang harus ada dipermukaan untuk mengadsorpsi bahan organik perairan adalah  $\geq 2$  gram. Jika jumlah sampel lebih kecil dari 2 gram maka kemampuan adsorpsinya akan menurun sehingga nilai BOD dalam limbah akan meningkat.

#### **4. Kesimpulan**

Berdasarkan hasil analisis tersebut dapat disimpulkan nanokomposit karbon aktif/TiO<sub>2</sub> mampu menurunkan nilai BOD dari limbah cair kelapa sawit melalui mekanisme adsorpsi dan fotodegradasi. Pengurangan nilai BOD tidak hanya dipengaruhi oleh peran partikel TiO<sub>2</sub> sebagai agen fotodegradasi yang mendegradasi bahan organik namun juga peran karbon aktif sebagai adsorben. Kemampuan karbon aktif dalam mengadsorpsi bahan organik mampu meningkatkan peran fotodegradasi dari TiO<sub>2</sub> dalam mendegradasi bahan organik dalam lingkungan perairan sehingga meningkatkan penurunan nilai BOD.

#### **5. Ucapan Terima Kasih**

Riset penulis dibiayai oleh Hibah Penelitian Dosen Pemula dari DP2M DIKTI.

## Daftar Kepustakaan

- Alam M Z., Muyibi S A., and Mansor M. F. 2007. Activated carbons derived from oilpalm empty-fruit bunches: Application to environmental problems. *J. EnvironSci*, 17: 103–108.
- Alkhatib, M.A., Muyibi, S., and Amode, J., 2011, Optimization of activated carbon production from empty fruit bunch fibers in one-step steam pyrolysis for cadmium removal from aqueous solution, *The Environmentalist*, 31: 349.
- Ameena, Y.K. 2003. *Titanium Dioxide Coated Activated Carbon: A Regenerative Technology For Water Recovery*, University Of Florida.
- Benedix R, Dehn F, Quass J, Orgass M. 2000. Application of titanium dioxide photocatalysis to create self-cleaning building materials. *Leipzig Annual Civil Engineering Report LACER No.5*. Universität Leipzig, Leipzig, Germany, pp 157–167.
- Chen, Xiaobo, and Samuel S. Mao. 2007. Titanium dioxide nanomaterials: synthesis, properties, modifications, and applications. *Chemical reviews* 107.7, 2891-2959.
- Dahlan, Dahyunir.,Pravita, Anggi S., 2013. *Analisis Sifat Hidrofobik dan Sifat Optik Lapisan Tipis TiO<sub>2</sub>*, FMIPA Universitas Lampung.
- Devi, B. V., Jahargidar, A. A. and Ahmed M. N. Z., 2012, Adsorption of Chromium on Activated Carbon Prepared from Coconut Shell, *Int. J. Eng. Research Applications*, Vol. 2 (5) : 364-370.
- Fujishima A, Hashimoto K, Watanabe T. 1999. *TiO<sub>2</sub> photocatalysis – fundamentals and applications*. BKC, Tokyo.
- Hidayu, A.R., Mohammad, N.F., Matali, S., Sharifah, A.S.A.K., 2013, Characterization of Activated Carbon Prepared From Oil Palm Empty Fruit Bunch Using BET and FT-IR Techniques. *Procedia Engineering*. 379-384.
- Ming, C.L, Joug, N.C, Kuo, T.C., 1999. Effect of Adsorbents Coated With Titanium Dioxide On The Photocatalytic Degradation Of Propoxur. *Elsevier Science*. Vol. 38 : 617-627.

Petrus,N.R, 2009, Studi Banding Teknologi Pengolahan Limbah Cair Kelapa Pabrik Kelapa Sawit, *J. TeknikLingkungan*, Vol. 10: 09 – 18.