

SINTESIS FILM TUNGSTEN OKSIDA (WO_3) DENGAN PENAMBAHAN METAL CO-KATALIS BESI (Fe) DAN APLIKASINYA PADA PENINGKATAN AKTIVITAS FOTOKATALITIK DEGRADASI ZAT WARNA METHYLENE BLUE MENGGUNAKAN CAHAYA MATAHARI

Burhanudin Syam dan Hendri Widiyandari

Jurusan Fisika, Fakultas Sains dan Matematika, Universitas Diponegoro, Semarang
E-mail: burhanudinsyam@yahoo.com

ABSTRACT

Degradation of dangerous pollutant with photocatalyst under solar or visible light radiation was a brilliant solution for environment pollution complication specifically for waste of liquid. So, we found a efficient photocatalyst which works at under wide spectrum from solar radiation. We report the synthesis of tungsten oxide/ferric oxide (WO_3/Fe_2O_3) composite material and study the role value of weight ratio loaded for Fe co-catalyst material to crystal structure, morphology and the material chemical composition from WO_3/Fe_2O_3 synthesis. And then, the photocatalyst would be application to degradation of methylene blue dye under visible light illumination.

The synthesis of the WO_3/Fe_2O_3 was deposited by photodeposition method followed by spray deposition technique on the glass substrate for controlling its morphology and chemical composition. Wearable four variations of mass ratio as data variables to determine the role of variations in the mass ratio of Fe co-catalyst material. The variations are pure WO_3 or without Fe additive, WO_3 with Fe additive 2%, 4%, and 6%. The composite's microstructure and composition properties are characterized by SEM (Scanning Electron Microscope), EDX (Energy Dispersive X-ray Spectroscopy) and XRD (X-Ray Diffraction).

Result showed, intensity from XRD's graphic has decrease each additive co-catalyst Fe, so could be influence at WO_3/Fe_2O_3 crystal size. The more quantity of additive weight ratio co-catalyst Fe againsts WO_3 then the crystal size of thin layer would be smaller. And then from methylene blue photodegradation result, the decrease intensity of C/C₀ concentration more faster and constant especially for 6% additive co-catalyst Fe. Then, the photodegradation sample has result more pure than 5 sample others.

Keywords : WO_3/Fe_2O_3 , Photodegradation, photodeposition method, composite material, co-catalyst

ABSTRAK

Degradasi polutan berbahaya menggunakan fotokatalis di bawah paparan sinar matahari atau cahaya tampak menjadi salah satu solusi cerdas untuk masalah pencemaran lingkungan khususnya limbah cair. Maka dicarilah fotokatalis yang efisien bekerja dibawah spektrum yang luas dari iradiasi sinar matahari. Kami melaporkan pembuatan material komposit tungsten oksida/ferric oksida (WO_3/Fe_2O_3) serta mengkaji pengaruh jumlah rasio berat muatan logam co-katalis Fe pada sintesis WO_3/Fe_2O_3 terhadap struktur kristal, morfologi dan komposisi kimia bahan. Fotokatalis selanjutnya diaplikasikan untuk degradasi zat warna methylene blue dibawah paparan cahaya tampak.

Sintesis film WO_3/Fe_2O_3 dikerjakan menggunakan metode fotodeposisi diikuti dengan spray deposisi menggunakan kaca sebagai substratnya. Digunakan empat variasi rasio berat sebagai variabel data untuk menentukan pengaruh variasi dari rasio berat material co-katalis Fe. Variasinya adalah WO_3 murni atau WO_3 tanpa penambahan Fe, WO_3 dengan penambahan Fe 2%, 4%, dan 6%. Mikrostruktur komposit dan komposisinya, dikarakterisasi menggunakan SEM (Scanning Electron Microscope), EDX (Energy Dispersive X-ray Spectroscopy) dan XRD (X-Ray Diffraction).

Hasil menunjukkan, intensitas pada puncak grafik XRD cenderung menurun setiap penambahan metal co-katalis Fe, sehingga berpengaruh pada ukuran kristalit WO_3/Fe_2O_3 . Semakin besar jumlah penambahan rasio berat material co-katalis Fe terhadap WO_3 maka semakin kecil ukuran bulir kristal pada permukaan filmnya. Selain itu berdasarkan hasil uji fotodegradasi zat warna methylene blue, intensitas penurunan konsentrasi C/C₀ semakin cepat dan konstan khususnya pada penambahan rasio berat Fe 6%. Sehingga sample fotodegradasi yang dihasilkan lebih jernih dibandingkan dengan 5 sampel lainnya.

Kata Kunci : Tungsten oksida, ferrite oksida, fotodegradasi, metode fotodeposisi, material komposit, co-katalis

PENDAHULUAN

Di kota-kota besar, sumber air baku umumnya dicemari oleh limbah industri (Prihatin, 2013). Sungai-sungai di kawasan industri kebanyakan menjadi pembuangan dari industri, terutama industri tekstil. Beberapa contoh limbah industri yang berbahaya diantaranya adalah limbah cair sisa pencucian dan penyelupan bahan tekstil, limbah dari rumah sakit dan limbah dari industri yang pada proses produksinya menggunakan zat-zat kimia. Industri pencelupan benang merupakan salah satu industri tekstil yang berkembang di Indonesia (Setyorini, 2012).

Limbah cair lingkungan industri tekstil memberikan pengaruh paling luas, karena karakteristik fisik maupun karakteristik kimia perairan dapat memberikan dampak negatif terhadap perairan. Teknologi pengolahan limbah cair baik secara biologi, kimia, fisika maupun kombinasi antara ketiga proses tersebut dapat digunakan untuk mengelolah limbah cair yang terkena pewarna.

Beberapa teknologi alternatif yang digunakan untuk mengolah limbah cair yang mengandung zat pewarna yang ada dalam limbah cair, misalnya dengan teknik koagulasi, flokulasi, adsorpsi dengan karbon aktif. Penghilangan warna dengan proses koagulasi, flokulasi, adsorpsi dengan karbon aktif sifatnya hanya memindahkan zat warna dari fase cair kedalam fase padat, bukan menguraikan senyawa-senyawa kompleks pembentukan warna. Partikel-partikel warna yang menggumpal bersama bahan perlu diproses lebih lanjut sehingga tidak menimbulkan pencemaran lanjutan atau limbah baru (Ikbal dkk, 2005).

Degradasi polutan berbahaya menggunakan fotokatalis di bawah iradiasi sinar matahari adalah solusi cerdas untuk masalah lingkungan. Tantangan terbesar adalah menemukan fotokatalis yang efisien yang bekerja dibawah spectrum yang luas dari iradiasi sinar matahari. Titania (TiO_2) adalah fotokatalis yang telah diteliti secara

menyeluruh untuk degradasi polutan berbahaya. Sayangnya Titania (TiO_2) hanya aktif di bawah radiasi ultraviolet (UV), karena celah pita yang besar (anatase, 3,2 eV (387 nm). Berbagai upaya telah dilakukan untuk meningkatkan kemampuan TiO_2 sehingga mampu bekerja pada panjang gelombang cahaya tampak seperti mendoping unsur TiO_2 dengan nitrogen, karbon, sulfur, dan boron. Namun, efisiensi kuantum di bawah iradiasi cahaya tampak masih jauh lebih rendah daripada berada di bawah radiasi ultraviolet (UV). Tungsten Oksida (WO_3) adalah fotokatalis yang menjanjikan di bawah iradiasi cahaya tampak (*Visible Light*) karena celah pita yang kecil (2,7-2,8 eV) (Purwanto dkk, 2010). Tungsten oksida (WO_3) merupakan bahan semikonduktor tipe-n (Ham, DJ, 2010) dengan energi gap $\sim 2,7\text{-}2,8$ eV sehingga peka terhadap cahaya tampak dan memiliki fotoabsorpsi cahaya tampak yang lebih baik (Morales dkk, 2008).

Metode yang digunakan untuk mendeposisi film WO_3 yaitu metode *spray coating* atau *spray deposition*. Keuntungan dari *spray deposition* dibandingkan dengan proses yang lain seperti PVD (*Physical Vapour Deposition*), CVD (*Chemical Vapor Deposition*), *Brazing*, *Cladding*, dan *elektroplating* adalah laju deposisi yang tinggi, dapat dilakukan pada kondisi atmosfer, beragam jenis bahan dapat dideposisikan dengan mudah sesuai dengan aplikasi yang diinginkan, dan lebih ramah lingkungan, yaitu tidak memiliki limbah buangan yang berbahaya pada lingkungan (Prawara, 2006). Metode ini sangat mudah dan praktis sehingga membantu dalam pelapisan film dalam skala besar. Sebelumnya, digunakan metode *photodeposition* untuk pembuatan larutan prekursor WO_3Fe . Dimana larutan prekursor awal disinari lampu halogen selama 5 jam kemudian dievaporasi untuk menghilangkan unsur methanol dari larutan prekursor.

Penelitian terkait yang menggunakan metode dan material yang sama sebelumnya hanya menggunakan *powder* WO_3 murni

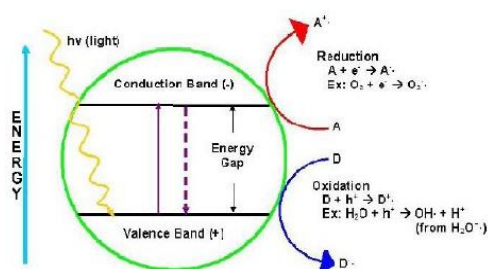
sebagai larutan *prekursor* utama. Sebagai upaya peningkatan aktivitas fotokatalis pada material saat di paparkan cahaya tampak, maka dilakukan uji coba pendopingan metal co-katalis besi (Fe) pada *powder* WO₃. Metal co-katalis sendiri merupakan material yang berperan sebagai katalisator untuk mempercepat reaksi kimia pada larutan.

Penelitian yang dikerjakan adalah dilakukannya sebuah rekayasa fisis dan kimia dalam memproduksi fotokatalis berefisiensi tinggi dibawah paparan cahaya tampak. Aktifitas fotokatalis dibawah paparan cahaya tampak dapat ditingkatkan dengan pengendalian morfologi, yaitu dengan penambahan elemen doping, teknik katalis tambahan, dan mensintesis komposit WO₃ dengan material aktif cahaya tampak lainnya (Purwanto dkk, 2010).

DASAR TEORI

Prinsip Dasar Fotokatalis

Suatu sistem fotokatalis berisi material semikonduktor yang dapat berhubungan dengan medium reaksi baik cairan maupun gas. Proses di dalam fotokatalis adalah jika partikel semikonduktor berada di dalam cairan maupun gas dan dikenai cahaya UV baik yang berasal dari cahaya matahari maupun lampu UV, maka akan menghasilkan pasangan electron dan lubang (*hole*). Pasangan elektron dan lubang (*hole*) ini akan berdifusi ke permukaan partikel semikonduktor tersebut dan menyebabkan proses oksidasi dan reduksi polutan yang terdapat di dalam medium. Gambar 1 menunjukkan ilustrasi reaksi fotokatalis.



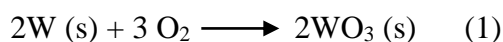
Gambar 1. Proses material fotokatalis yang tereksitasi secara fotokimia

Jika foton dengan energi $h\nu$ yang melebihi celah pita energi material semikonduktor mengenai material tersebut maka elektron (e^-) akan tereksitasi dari pita valensi ke pita konduksi meninggalkan lubang (*hole*). Pada material konduktif seperti metal maka pembawa muatan yang dihasilkan ini akan berekombinasi. Namun untuk material semikonduktor, sebagian dari pasangan elektron-*hole* yang tereksitasi akan berdifusi dan terjebak di permukaan partikel katalis yang selanjutnya mengalami reaksi kimia dengan donor absorber (D) atau molekul akseptor (A) (Al-Rasheed, 2005).

Tungsten Oksida (WO₃)

Tungsten (VI) oksida, dikenal juga sebagai trioksida tungsten atau *anhidrida tungstat*, adalah senyawa kimia yang mengandung oksigen dan tungsten logam transisi. Hal ini diperoleh sebagai perantara dalam pemulihan tungsten dari mineralnya (Pradyot, 2003).

Trioksida dibuat dengan memanaskan logam wolfram dengan senyawa lain seperti sulfide dalam oksigen. Oksida tersebut tidak bereaksi dengan asam tetapi larut dalam basa membentuk larutan wolframat. WO₃ padatan kuning lemon dengan titik leleh ~1200 °C. Dioksida (WO₂) dibuat dengan mereduksi trioksida dengan hydrogen atau NH₃ pada suhu ±470 °C. Pada suhu ruangan, tungsten dapat bereaksi dengan udara atau O₂. Pada suhu yang meningkat, akan terbentuk tungsten (VI) oksida atau trioksida (Hiskia, 2001). Persamaan reaksinya sebagai berikut :

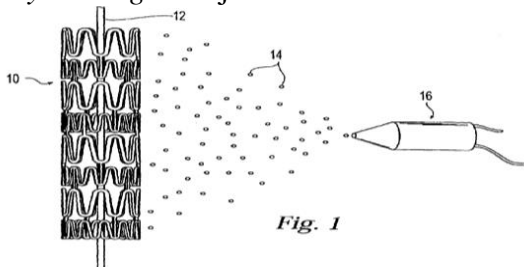


Struktur kristal dari Tungsten (VI) oksida bergantung pada temperatur, yaitu tetragonal pada suhu di atas 740 °C, ortorombik 330-740 °C, monoklinik 17-330 °C dan triklinik -50-17 °C. Struktur kristal WO₃ yang paling umum adalah monoklinik (Lassner dkk, 1999).

Droplet Deposition / Direct Spray Deposition

Banyak metode untuk mensintesis film dengan cara memasukkan prekursor dalam larutan. Metode yang paling sederhana dan sering dilakukan adalah *spray coating* (Kodas dkk, 1999).

Metode *spray coating* merupakan proses material pelapis (*feedstock*) sebagai partikel individu didorong dengan aliran gas bertekanan ke suatu permukaan (substrat). Partikel tersebut menabrak substrat, menempel, dan membentuk permukaan tipis yang sesuai (Prawara, 2006). Contoh proses *spray coating* ditunjukkan oleh Gambar 2.

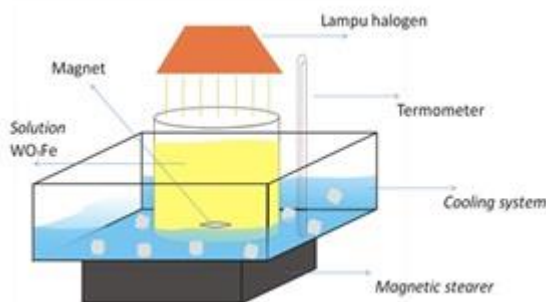


Gambar 2. *Spray coating* (Weber dkk, 2004)

METODE PENELITIAN

Penelitian yang akan dilakukan secara umum dibagi menjadi 2 tahap. Tahap pertama adalah pembuatan film tipis $WO_3Fe_2O_3$ yang mencakup dua proses utama yaitu, fotodeposisi dan *spray deposition*. Tahap kedua adalah uji fotodegradasi dengan menggunakan *methylene blue* sebagai model polutan.

Proses Fotodeposisi Larutan Prekursor Dasar $WO_3Fe_2O_3$

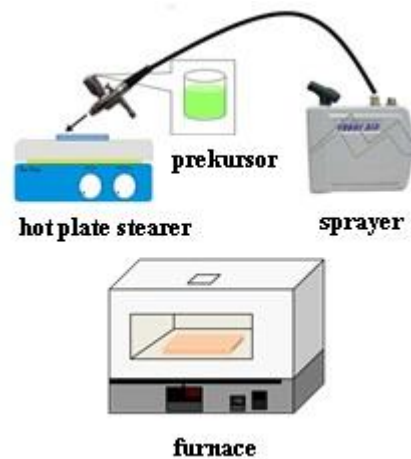


Gambar 3 Skema penelitian proses fotodeposisi

Pada tahap fotodeposisi, 0,5 gr *powder* WO_3 yang sudah di larutkan dengan variasi rasio berat metal co-katalis Fe terhadap WO_3 (0%, 2%, 4% dan 6%) dan 100 ml aqua DM, dipaparkan menggunakan cahaya tampak yang berasal dari solar simulator lampu halogen. Larutan *prekursor* dipaparkan selama 2 jam. Selama proses tersebut, suhu larutan *prekursor* diusahakan untuk tetap terjaga pada suhu kamar ($\pm 27^\circ C$). Selanjutnya, ditambahkan 15 ml *methanol* sebagai senyawa pemicu agar pelarutan antara WO_3 dengan Fe semakin baik. Lama pemaparannya yaitu 3 jam. Dan terakhir, Evaporasi atau penguapan *methanol* dilakukan agar larutan *prekursor* WO_3/Fe_2O_3 tidak terlalu banyak mengandung senyawa lain. Penguapan dilakukan selama 2 jam menggunakan *hot plate* dengan suhu didih *methanol* $\pm 65^\circ C$ didalam ruangan tertutup dengan sistem penyedot udara.

Proses *Spray Deposition* $WO_3Fe_2O_3$ diatas Substrat Kaca Preparat

Pada proses ini dilakukan dengan metode *spray deposition*, yaitu dengan menyemprotkan larutan *prekursor* yang digunakan ke atas permukaan kaca preparat berukuran 2,5 x 5 cm.



Gambar 4. Skema penelitian metode *spray deposition*

Volume larutan *prekursor* yang digunakan sebesar 20 ml dengan variasi rasio berat Fe murni atau 0%, 2%, 4% dan 6%. Proses *spraying* dilakukan diatas *hot plate*

dengan suhu 150° C. Selanjutnya di *annealing* menggunakan furnace dengan suhu 600°C. Lama waktu furnace yang digunakan ialah 1 jam. Film hasil *spray deposition* kemudian di uji karakteristik untuk mengetahui morfologi dan komposisi yang terdapat pada film.

Tahap Uji Fotodegradasi Zat Warna *Methylene Blue*

Pada proses ini, film WO₃/Fe₂O₃ di letakkan pada kaca berukuran 7 x 5 cm yang sebelumnya telah terisi larutan zat warna uji degradasi. Zat warna yang digunakan adalah *methylene blue*.

Agar aktivitas fotokatalis lebih efisien, ditambahkan *magnetic stirrer* didalam kaca tersebut. Fungsinya agar *methylene blue* lebih homogen selama proses pemaparan berlangsung. Selain itu juga memicu aktivitas fotokatalis pada film WO₃/Fe₂O₃. Pemaparan dilakukan di luar ruangan dengan sumber cahaya tampak dari sinar matahari. Lama waktu pemaparan yang digunakan selama 6 jam. Variasi perlakuan selama proses fotodegradasi-nya adalah larutan *methylene blue blank no stirrer* (tanpa film dan tanpa diaduk sebagai kontrol); *blank with stirrer* (tanpa film dan diaduk); WO₃ murni; WO₃ penambahan Fe 2%; WO₃ penambahan Fe 4%; dan WO₃ penambahan Fe 6%.



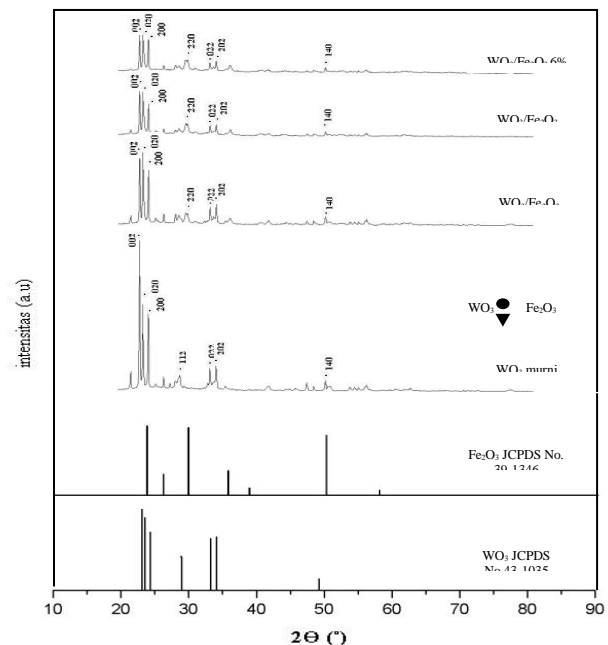
Gambar 5. Pengujian fotodegradasi zat warna *methylene blue*

Pengujian zat warna hasil degradasi menggunakan spektrofotometer UV-Vis (UV mini 1240, Shimadzu, Japan). Dengan uji

tersebut akan diketahui transmitansi dan absorbansi dari zat warna yang telah didegradasi. Sehingga dapat diketahui berapa tingkat efektifitas larutan *prekursor* yang digunakan.

HASIL DAN PEMBAHASAN Mikrostruktur Film WO₃/Fe₂O₃

Pola XRD yang tampak pada Gambar 4.1 menunjukkan pola difraksi film WO₃/Fe₂O₃ yang telah terdeposisi dengan variasi rasio berat. Struktur kisi kristal film WO₃/Fe₂O₃ yang terbentuk diidentifikasi menggunakan JCPDS ICDD PDF No.43-1035 dan No. 39-1346.



Gambar 6. Pola XRD film WO₃/Fe₂O₃

Pada puncak difraksi dua theta (2θ) 23,09°; 24,32°; 28,89°; 33,21° dan 49,92° yang berturut-turut mengidentifikasi orientasi kristal (002); (200); (112); (022); dan (140). Mayoritas puncak yang terbentuk bersesuaian dengan JCPDS ICDD PDF No.43-1035 yang diidentifikasi sebagai unsur WO₃. Pada konsentrasi 2% - 6% muncul puncak baru yang mengandung unsur Fe₂O₃ didalamnya. Puncak tersebut berada pada titik 29,73° (220). Terbentuknya puncak baru tersebut dikarenakan penambahan volume rasio berat

Fe₂O₃ pada larutan prekursor sehingga akan terlihat saat dilakukan uji XRD.

Sudut difraksi 2θ yang digunakan berada pada titik 23,1 dimana intensitasnya memiliki nilai yang paling tinggi (rata-rata 18,723) sehingga dapat dijadikan sebagai puncak acuan paling dominan dalam pengukuran nilai Full Width at Half Maximum (FWHM). Nilai FWHM digunakan untuk mengetahui ukuran bulir kristal film. Menggunakan persamaan scherrer berikut maka akan diketahui ukuran bulir kristal setiap film yang dibuat.

$$\beta = \frac{W \pi}{180^\circ} \quad (2)$$

$$L = \frac{K \lambda}{\beta \cos \theta} \quad (3)$$

λ merupakan panjang gelombang tetap α (0,15406 nm). K adalah tetapan yang bernilai 0,94. L adalah ukuran bulir kristal, W adalah pemisalan simbol dari FWHM (Amrina, 2008).

Rasio Berat (%)	Sudut Difrak 2θ (°)	θ (°)	FWHM (°)	FWHM (rad)	Ukuran Kristalit (nm)
0	23,10	11,55	0,1185	0,002067	68,613647
2	23,12	11,56	0,1146	0,001999	70,945390
4	23,11	11,55	0,1170	0,002042	69,461561
6	23,10	11,55	0,1205	0,002102	67,490974

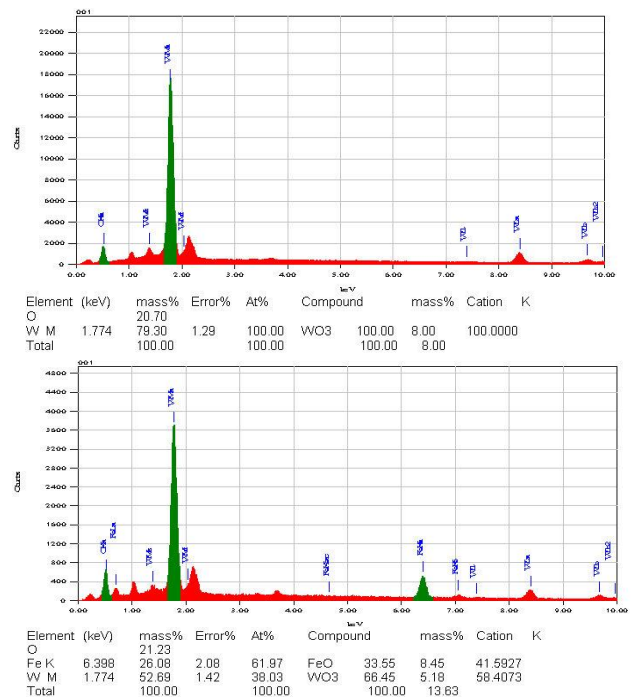
Tabel 4.2 Data Ukuran Kristal Film WO₃/Fe₂O₃

Intensitas puncak pada grafik XRD cenderung menurun setiap penambahan metal co-katalis Fe. Hal ini dikarenakan ketika rasio berat Fe semakin ditambah, akan terjadi reaksi antara material dasar WO₃ dengan Fe mengakibatkan meningkatnya intensitas material pendopan. Oleh karena itu, jika rasio berat Fe melampaui batas jumlah material co-katalis yang didopingkan, maka intensitas material dasar (WO₃) akan berkurang atau cenderung menurun (Aiming, 2012).

Menurunnya intensitas WO₃, mempengaruhi ukuran kristalit WO₃/Fe₂O₃ yang diperoleh. Berdasarkan data tabel diatas, semakin besar jumlah penambahan rasio berat material co-katalis Fe terhadap WO₃ maka semakin kecil ukuran bulir kristal pada permukaan filmnya.

Komposisi Atom Film WO₃/Fe₂O₃

Analisis komposisi atom menggunakan EDX pada Film WO₃/Fe₂O₃ yang terbentuk bertujuan untuk mengetahui atom-atom penyusun lapisan, inkorporasi atom Fe ke dalam lapisan dan mengamati keberadaan atom pengotor.



Gambar 7. Spektrum EDX film WO₃ murni (atas) dan WO₃/Fe₂O₃ 6% (bawah)

Spektrum EDX Film WO₃/Fe₂O₃ pada gambar diatas menunjukkan adanya puncak serapan energi dari tiap unsur yang terkandung dalam lapisan yang terbentuk. Puncak energi tersebut bersesuaian dengan atom penyusun Film yaitu pada 6,398 keV untuk atom Fe; dan 1,774 keV untuk atom W.

Persentase atomik unsur Film WO_3/Fe_2O_3 dengan berbagai variasi rasio berat Fe_2O_3 terhadap WO_3 ditunjukkan oleh tabel 2.

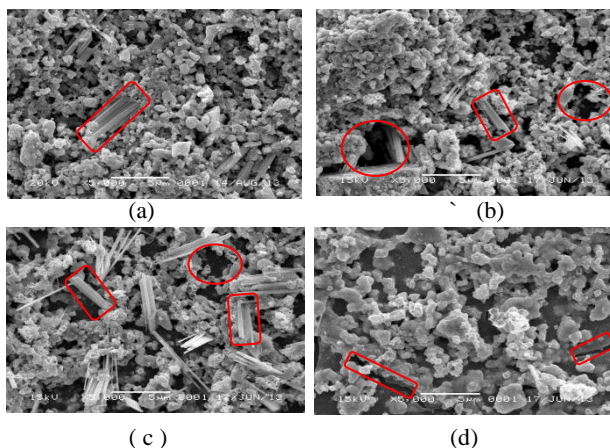
Tabel 2. Persentase Atomik Unsur Film WO_3/Fe_2O_3 dengan Berbagai Variasi Rasio Berat Fe_2O_3/WO_3

No	Rasio Berat (%)	Massa Unsur (%)			Massa Senyawa (%)
		W	O	Fe	WO_3
1	0	79,30	20,70	-	100
2	2	72,74	20,83	6,43	91,73
3	4	65,24	20,98	13,79	82,27
4	6	52,69	21,23	26,08	66,45

Pada data persentase massa senyawa, jumlah penurunan massa senyawa WO_3 berbanding terbalik dengan jumlah peningkatan massa senyawa Fe_2O_3 yaitu sebesar 11,183 % setiap penambahan 2% rasio berat Fe_2O_3/WO_3 . Dengan hasil tersebut diketahui peningkatan massa senyawa Fe_2O_3 , konsisten. Ini menunjukkan hasil pen-dopingan Fe relatif stabil dan merata.

Analisis Morfologi Film Tungsten Oksida (WO_3)

Karakterisasi SEM dilakukan untuk mengetahui citra morfologi permukaan film WO_3 dengan perbesaran 5.000 kali.



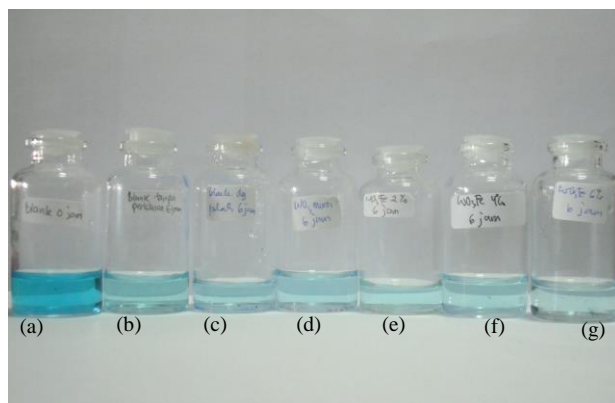
Gambar 8. Citra morfologi film WO_3/Fe_2O_3 dengan perbesaran 5000 kali pada variasi rasio berat Fe (a) murni, (b) 2%, (c) 4% dan (d) 6%

Pada hasil citra SEM diatas, diketahui film memiliki *tren* permukaan yang cukup rata.

Meskipun pada beberapa bagian film tampak adanya ukuran bulir yang memanjang (persegi merah) dan bagian yang belum terlapsi dengan sempurna (lingkaran merah). Selain itu terjadi penumpukan bulir kristal atau *agglomeration* pada setiap film yang dilapsi.

Uji Fotodegradasi Untuk Mengetahui Kemampuan Aktivitas Fotokatalis WO_3/Fe_2O_3

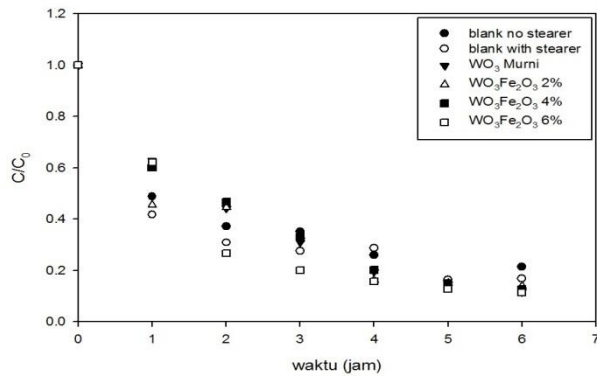
Pemaparan dilakukan selama 6 jam pada larutan zat warna *methylene blue* 10 ppm (100 ml) dengan variasi pengujian sampel tiap 1 jam menggunakan spektrofotometer.



Gambar 9. Hasil pengujian fotodegradasi zat warna *methylene blue* 10 ppm setelah 6 jam pemaparan (a) *methylene Blue* mula-mula ($C_0 = 10$ ppm), (b) *blank no stearer* (c) *blank with stearer* (d) WO_3 murni (e) WO_3/Fe_2O_3 2% (f) WO_3/Fe_2O_3 4% dan (g) WO_3/Fe_2O_3 6%

Hasil yang diperoleh dari penelitian diatas menunjukkan bahwa film WO_3/Fe_2O_3 merupakan material fotokatalis yang mampu mendegradasi zat warna *methylene blue*, ini terlihat dari perubahan fisik dari zat warna *methylene blue* yang awalnya berwarna biru menjadi bening.

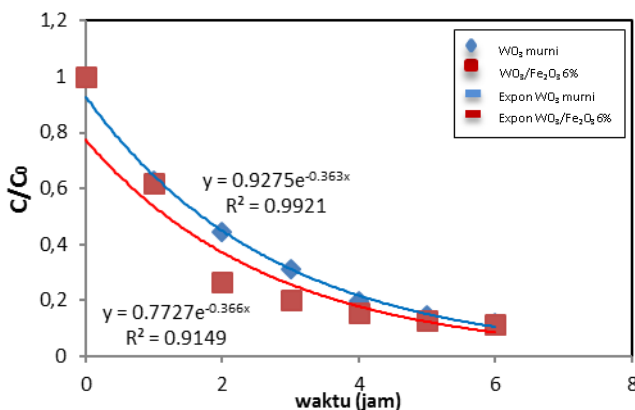
Dari pengukuran menggunakan spektrofotometer UV-Vis mini 1240SA pada panjang gelombang 664 nm diperoleh grafik hubungan antara waktu iradiasi (jam) vs C/C_0 pada gambar 10.



Gambar 10. Grafik hubungan C/C_0 vs waktu iradiasi degradasi zat warna *methylene blue* menggunakan film WO_3/Fe_2O_3 dengan variasi rasio berat dan tanpa menggunakan film

Berdasarkan hasil pengolahan grafik diatas diketahui bahwa uji fotodegradasi film WO_3/Fe_2O_3 memiliki efektivitas penurunan konsentrasi C/C_0 yang efisien dan tren penurunan yang stabil. Namun pada 3 jam terakhir, penurunan mulai mengalami saturasi atau kejenuhan. Hal ini disebabkan terbatasnya pasangan elektron (e^-) dan *hole* (h^+) yang diproduksi dari film WO_3/Fe_2O_3 setiap penambahan waktu degradasi.

Sebagai perbandingan, grafik pada Gambar 10 dibuat *fitting* eksponensial untuk mengetahui seberapa besar pengaruh penambahan material Fe pada hasil uji degradasi dan mengamati titik jenuh dari film WO_3/Fe_2O_3 tersebut.



Gambar 11. Hasil *fitting* grafik hubungan C/C_0 vs waktu iradiasi degradasi zat warna *methylene blue* menggunakan film WO_3 murni dan WO_3/Fe_2O_3 6%

Berdasarkan hasil *fitting* pada gambar 11, diketahui bahwa efek dari penambahan Fe 6% terlihat lebih cepat bereaksi saat

dipaparkan cahaya matahari dibandingkan tanpa penambahan Fe. Penurunan konsentrasi C/C_0 tampak lebih jelas menggambarkan seberapa besar pengaruh penambahan Fe saat mendegradasi zat warna *methylene blue*. Tidak menutup kemungkinan, semakin besar penambahan rasio berat Fe yang ditambahkan ke WO_3 , semakin baik pula efektivitas fotokatalis yang dihasilkan.

KESIMPULAN

Berdasarkan hasil diperoleh, dapat diambil beberapa kesimpulan diantaranya, film WO_3/Fe_2O_3 berhasil ditumbuhkan diatas substrat kaca preparat ; Semakin besar jumlah penambahan rasio berat material co-katalis Fe maka semakin kecil ukuran bulir kristal pada permukaan film $WO_3Fe_2O_3$; Pengujian fotodegradasi film $WO_3Fe_2O_3$ pada larutan zat warna *methylene blue* menunjukkan bahwa fotokatalis $WO_3Fe_2O_3$ mampu mendegradasi zat warna ; Penambahan rasio berat Fe memberikan dampak peningkatan aktivitas fotokatalitik pada uji fotodegradasi dibandingkan tanpa penambahan Fe.

DAFTAR PUSTAKA

- [1]. Prihatin, R.B., 2013, *Problema Air Bersih di Perkotaan*, Pusat Pengkajian, Pengolahan Data dan Informasi, Jakarta.
- [2]. Setyorini, D., 2012, *Integrasi Pengolahan Limbah Industri Benang dan Tekstil Melalui proses ABR dan Wetland Menggunakan Eceng Gondok (Eichhornia crassipes)*, Institut Teknologi Sepuluh Nopember, Surabaya.
- [3]. kbal, N., Rudi dan ikbal., 2005, *Pengolahan Air Limbah Berwarna Industri Tekstil Dengan Proses AOPs*, BPPT: JAI Vol.1, No.2, 163-172.
- [4]. Purwanto, A., Widiyandari, H., Ogi, T. and Okuyama, K., 2010, *Role Of Particle Size For Platinum-Loaded Tungsten Oxide*

- Nanoparticles During Dye Photodegradation Under Solar-Simulated Irradiation*, Catalysis Communications Vol.12, 525–529.
- [5]. am, D.J., 2010, *Hydrothermal Syntesis of Monoclinic WO₃ Nanoplates and Nanorods Used as an Electrocatalyst for Hydrogen Evolution Reactions from Water*, Pohang University of Science and Tecnology, Republic of Korea. H
- [6]. Morales, W., 2008, *Combustion Synthesis and Characterization of Nanocrystalline WO₃*. The University of Texas at Arlington, Arlington.
- [7]. Prawara, B., 2006, *Rancang Bangun Thermal Spray Coating Dengan Menggunakan Sistem Hight Velocity Oxygen Fuel*, Kegiatan: 4977.0127, Rekayasa Peralatan.
- [8]. Al-Rasheed, R., 2005, *Water treatment by Heterogeneous Photocatalysis an overview*, www.google.com.
- [9]. Pradyot, P., 2003, *Handbook of Inorganic Chemical Compounds*, McGraw-Hill, ISBN 0070494398, New York.
- [10]. iskia, A., 2001, *Kimia Unsur dan Radiokimia*, Citra Adia Bakti, Bandung. H
- [11]. Lassner, Erik and Wolf, D.S., 1999, *Tungsten: Properties, Chemistry, Technology of the Element, Alloys, and Chemical Compounds*. Kluwer Academic: New York.
- [12]. Kodas, T.T., Hampden, M.J.S., 1999, *Aerosol Processing of materials*. wiley-VCH, New York.
- [13]. Weber, J., Grove, M., Kocur, G. J. dan Lakes, L., 2004, *Method For Spray-Coating a Medical Device Having a Tubular Wall Such as a Sten*, Weber et al, US 6,743,463 B2, Jun. 1, 2004.
- [14]. Amrina, Q. H., 2008, *Sintesa Hidroksiapatit dengan Memanfaatkan Limbah Cabgkang Telur: Karakterisasi Difraksi sinar-X dan Scanning Elektron Microscopy (SEM)*, Institut Pertanian Bogor, Bogor.
- [15]. Aiming, M., Jung, K.K., Kahee, S., Dong, H.W., Pil, J.Y., Gui, Y.H. and Jong H.P., 2012, *Hematite Modified Tungsten trioxide nanoparticle Photoanode for Solar Water Oxidatio*, Journal of Power Sources, 210, 32-37.

