

PEMBUATAN KATALIS FENTON DARI SUMBER DAYA ALAM LOKAL UNTUK PENGOLAHAN LIMBAH ORGANIK

Saeful Yusuf, Sari Hasnah Dewi, Ridwan dan Siti Wardiyati

Pusat Teknologi Bahan Industri Nuklir (PTBIN) - BATAN

Kawasan Puspiptek, Serpong 15314, Tangerang Selatan

e-mail: saeful@batan.go.id

Diterima: 21 Desember 2012

Diperbaiki: 03 Juni 2013

Disetujui: 12 Juni 2013

ABSTRAK

PEMBUATAN KATALIS FENTON DARI SUMBER DAYA ALAM LOKAL UNTUK PENGOLAHAN LIMBAH ORGANIK. Artikel ini membahas tentang pengolahan limbah organik menggunakan metode fenton dan foto fenton dengan katalis yang dibuat dari sumber daya alam lokal. Bahan katalis dibuat dari bahan dasar pasir besi yang berasal dari pantai selatan Pulau Jawa Kulon Progo dan bahan *Hot Strip Mill (HSM)* yang merupakan *mill scale* produksi PT. Krakatau Steel. Bahan pasir besi digiling dengan peralatan *rock mill* dan *High Energi Milling (HEM)* dan selanjutnya dikarakterisasi dengan teknik Analisis Aktivasi Neutron (AAN), *X-Ray Diffractometer (XRD)* dan *Scanning Electron Microscope (SEM)*. Kinerja bahan sebagai katalis untuk mendegradasi limbah organik dievaluasi dari hasil pengukuran dengan spektrofotometri *Ultra Violet-Visible (UV-Vis)*. *Methylene Blue (MB)* dipilih sebagai representasi dari zat warna yang terkandung di dalam limbah organik. Hasil percobaan menunjukkan bahwa pasir besi Kulon Progo dan *HSM* memiliki fasa Fe_3O_4 (*magnetite*) dan masing-masing bahan memiliki kandungan Fe sebesar $86,1 \pm 3,5\%$ dan $71,2 \pm 3,1\%$. Bahan-bahan tersebut terbukti dapat berfungsi dengan baik sebagai katalis fenton dan dapat digunakan untuk pengolahan limbah organik. Dari dua bahan tersebut, *HSM* memiliki kinerja lebih baik sebagai katalis fenton bahkan lebih baik bila dibandingkan dengan kinerja Fe_3O_4 komersial.

Kata kunci: Fenton, Katalis, Limbah, Zat warna, *HSM*, Pasir besi

ABSTRACT

PREPARATION OF FENTON CATALYST MATERIALS FROM LOCAL NATURAL RESOURCES FOR ORGANIC WASTE TREATMENTS. This article discusses the treatment of organic waste by fenton and photo fenton methods using catalyst prepared from local natural resources. Catalyst materials were prepared from raw materials of iron sand from the south coast of Java Kulon Progo and materials *HSM* (*hot strip mill*) which is mill scale product of PT. Krakatau Steel. Iron sand material was milled with a rock mill and High Energi Milling (HEM) equipment and further characterized by Neutron Activation Analysis (NAA) techniques, X-Ray Diffractometer (XRD) dan Scanning Electron Microscope (SEM). Performance of the material as a catalyst to degrade organic waste was evaluated from the results of measurements with Ultra Violet Visible (UV-Vis) spectrophotometry. Methylene blue (MB) was chosen as a representation of the dye contained in the organic waste. The experimental results indicated that the iron sand Kulon Progo and *HSM* has a phase of Fe_3O_4 (*magnetite*) and has an Fe content of $86.1 \pm 3.5\%$ and $71.2 \pm 3.1\%$, respectively. These materials are proven to function well as a fenton catalyst and can be used for organic waste treatment. Comparing the two materials, *HSM* has better performance as the catalyst even better if compared with the performance of commercial Fe_3O_4 .

Keywords: Fenton, Catalyst, Waste, Dye, *HSM*, Iron sand

PENDAHULUAN

Pencemaran lingkungan khususnya air sungai di Indonesia sudah sangat memprihatinkan. Menurut data yang dikeluarkan Kementerian Lingkungan Hidup 75,25% dari jumlah titik pantau terhadap 411 sungai di Indonesia memiliki status tercemar berat [1]. Beberapa

parameter yang sangat berpengaruh pada terjadinya pencemaran air ini adalah kandungan *Biological Oxygen Demand (BOD)*, *Chemical Oxygen Demand (COD)*, total *coliform* dan *fecal coli*. Tingginya parameter *BOD* dan *COD* pada air sungai di Indonesia terutama

disebabkan oleh masih rendahnya kesadaran masyarakat dan pelaku industri dalam membuang limbah rumah tangga dan limbah industri.

Kementerian Negara Lingkungan Hidup telah menerbitkan peraturan-peraturan tentang baku mutu limbah cair untuk berbagai kegiatan industri [2]. Namun demikian, kurangnya pengawasan dari instansi terkait, kesadaran yang masih rendah dari pelaku industri dan mahalnya biaya pengolahan limbah ditengarai menjadi penyebab pelaku industri melanggar peraturan yang telah ditetapkan pemerintah. Biaya pengolahan limbah yang mahal akan meningkatkan biaya produksi sehingga produk industri menjadi mahal dan berdaya saing rendah. Oleh karena itu, diperlukan suatu terobosan teknologi yang dapat menurunkan biaya pengolahan limbah sehingga menjadi murah dan tidak memberatkan pelaku industri.

Beberapa teknologi pengolahan limbah telah dikembangkan dan secara umum dapat digolongkan menjadi 3 metode yaitu pengolahan secara fisika, kimia dan biologi. Salah satu teknologi yang mulai banyak dikembangkan untuk mengolah limbah organik adalah *Advanced Oxidation Processes (AOPs)* [3,4]. Teknologi *AOPs* dapat merupakan kombinasi dari beberapa proses, antara lain: ozon, hidrogen peroksida (H_2O_2), sinar *UV*, titanium dioksida, foto katalis, sonolisis untuk menghasilkan radikal bebas hidroksil ($\bullet OH$). Radikal hidroksil adalah spesi aktif dengan potensial oksidasi yang tinggi yaitu 2,8 V, melebihi ozon yang memiliki potensial oksidasi 2,07 V [3]. Radikal hidroksil berperan dalam mengoksidasi dan mendegradasi limbah organik sehingga konsentrasi limbah menjadi berkurang.

Proses fenton merupakan salah satu dari teknologi *AOPs* yang mana spesi radikal hidroksil dihasilkan dari reaksi antara H_2O_2 dengan ion Fe^{2+} sebagai katalis. Apabila pada proses di atas dikenai cahaya *UV* sebagai katalis, maka proses tersebut dikenal sebagai proses foto fenton. Berbagai penelitian telah dilakukan dengan menggunakan metode fenton yaitu degradasi zat warna [5-10] yang umumnya digunakan sebagai pewarna tekstil. Penelitian metode fenton juga telah dilakukan untuk degradasi suatu bahan desinfektan/pestisida [11], polutan organik persistan di dalam air [12] dan bahan polimer [13]. Proses fenton dapat bereaksi dengan efektif pada limbah cair pada rentang pH 2 hingga pH 4, dan lebih efektif lagi dilakukan pada pH = 3. Proses fenton tidak efektif dilakukan pada limbah cair dengan pH = 5 hingga 9, hal ini dikarenakan pada pH tersebut akan semakin banyak terbentuk endapan $Fe(OH)_3$ yang dapat mengganggu efisiensi degradasi limbah organik [4].

Pada reaksi fenton/foto fenton bahan kimia yang dibutuhkan adalah H_2O_2 dan bahan kimia penghasil ion Fe^{2+} . Beberapa peneliti menggunakan bahan kimia $FeSO_4$ [6,8], $FeCl_2$ [5], $FeCl_3$, ferrozine, NZVI [12] sebagai sumber ion Fe^{2+} . Walaupun pengolahan limbah organik

dengan metode fenton/foto fenton cukup efektif, namun bahan baku untuk reaksi tersebut di Indonesia masih diadakan dengan cara mengimpor dari luar negeri. Dengan demikian biaya pengolahan limbah menjadi kurang efisien, sehingga diperlukan bahan baku yang murah untuk reaksi fenton. Penggunaan bahan baku yang berasal dari sumber daya alam lokal merupakan salah satu solusi dari permasalahan di atas, apalagi bila bahan baku yang digunakan untuk mengolah limbah berasal dari limbah pula.

Pasir yang berasal dari pesisir Pulau Jawa telah diketahui kaya akan unsur besi sehingga sering disebut sebagai pasir besi. Sumber daya alam lokal ini memungkinkan digunakan sebagai bahan baku untuk reaksi fenton. Demikian pula dengan limbah industri dari pabrik baja mengandung unsur besi yang tinggi. Pada penelitian ini akan dilakukan pembuatan bahan katalis untuk reaksi fenton dari sumber daya alam lokal pasir yang diambil dari pantai selatan Pulau Jawa yaitu daerah Kulon Progo dan bahan *Hot Strip Mill (HSM)* yang merupakan *mill scale* pabrik baja Krakatau Steel. Selanjutnya bahan yang telah dipreparasi, dikarakterisasi dan digunakan untuk mendegradasi zat warna yang terkandung di dalam limbah organik. Karakterisasi dengan metode Analisis Aktivasi Neutron (AAN) digunakan untuk menentukan kandungan Fe di dalam bahan. Untuk mengetahui fasa dilakukan uji karakterisasi dengan *X-Ray Diffractometer (XRD)* dan *Scanning Electron Microscope (SEM)* untuk mengamati morfologi bahan. *Methylene Blue (MB)* dipilih sebagai representasi dari zat warna yang terkandung di dalam limbah organik. Untuk mengetahui kinerja dari bahan sumber daya alam lokal dalam mendegradasi zat warna digunakan spektrofotometri *Ultra Violet-Visible (UV-Vis)*. Sebagai perbandingan bahan dari sumberdaya alam lokal digunakan pula bahan Fe_3O_4 komersial yang berasal dari katalog *Aldrich*.

METODE PERCOBAAN

Bahan

Pasir besi yang digunakan dalam penelitian ini diambil dari Kulon Progo-Yogyakarta yang terletak di pesisir selatan Pulau Jawa. *HSM* merupakan *mill scale* dari pabrik baja Krakatau Steel Cilegon, Provinsi Banten. Fe_3O_4 komersial berasal dari *Aldrich* dengan nomor katalog 637106, sedangkan MB diperoleh dari Merck dengan nomor katalog 6040.

Cara Kerja

Preparasi

Pasir besi dibersihkan dari kotoran dan dicuci dengan air selanjutnya dimilling (dihaluskan) menggunakan peralatan *rock mill*. Setelah dihaluskan dengan *rock mill*, pasir besi dicuci kembali untuk

memisahkan oksida Fe dari oksida lainnya seperti Si dan Ca. Selanjutnya dihaluskan lagi menggunakan *High Energy Milling (HEM)* selama 15 jam dan kembali dicuci dengan air. Sedangkan *HSM*, diperoleh dalam keadaan serbuk halus dan tidak dilakukan preparasi sebelum karakterisasi.

Karakterisasi Pasir Besi dan *HSM*

Sampel pasir besi yang telah dihaluskan sampai orde mikron dengan *rock mill* dan *HEM* dan sampel *HSM* dikarakterisasi dengan *SEM* untuk mempelajari morfologinya. Karakterisasi dengan difraksi sinar-X dilakukan untuk mengetahui fasa kristal bahan. Sedangkan kandungan Fe di dalam pasir besi dan *HSM* ditentukan dengan analisis teknik nuklir AAN.

Pengaruh H_2O_2 Tanpa Adanya Fe

Pada 400 mL zat warna *MB* 10,0 ppm ditambahkan H_2O_2 dengan jumlah yang bervariasi yaitu 0,050 mL hingga 0,900 mL. Larutan HCl 0,1 M ditambahkan ke dalam masing-masing larutan sehingga setiap larutan memiliki pH=3. Selanjutnya dilakukan pengadukan dalam selang waktu 1500 menit dan diantara selang waktu tersebut dilakukan pengukuran konsentrasi *MB*.

Optimasi Waktu Homogenisasi Fe Menggunakan Katalis Fe_3O_4 (*Aldrich*)

Ke dalam 4 buah *beaker glass* kosong dimasukkan masing-masing sebanyak 200 mL larutan *MB* dengan konsentrasi *MB* 10,0 ppm. Larutan HCl encer dimasukkan ke dalam masing-masing larutan sehingga setiap larutan memiliki pH=3. Serbuk halus Fe_3O_4 sebanyak 100 mg ditambahkan ke dalam larutan tersebut dan diaduk (dihomogenisasi) dengan selang variasi waktu 10 menit hingga 90 menit (waktu homogenisasi). Setiap selang variasi waktu pengadukan, ke dalam masing-masing larutan ditambahkan H_2O_2 sebanyak 0,075 mL dan kemudian diaduk kembali untuk selang waktu 30 menit hingga 240 menit (waktu penguraian). Selanjutnya larutan diukur dengan spektrofotometri *UV-VIS* untuk mengetahui kandungan *MB* yang tersisa.

Optimasi Penambahan H_2O_2 Menggunakan Katalis Fe_3O_4 (*Aldrich*)

Pada 200 mL *MB* dengan konsentrasi 10 mg/L yang memiliki pH=3 ditambahkan sebanyak 100 mg serbuk Fe_3O_4 dengan waktu homogenisasi selama 90 menit. Selanjutnya H_2O_2 ditambahkan ke dalam larutan tersebut di atas dengan jumlah yang bervariasi 0,025 mL, 0,050 mL, 0,075 mL dan 0,150 mL. Larutan di

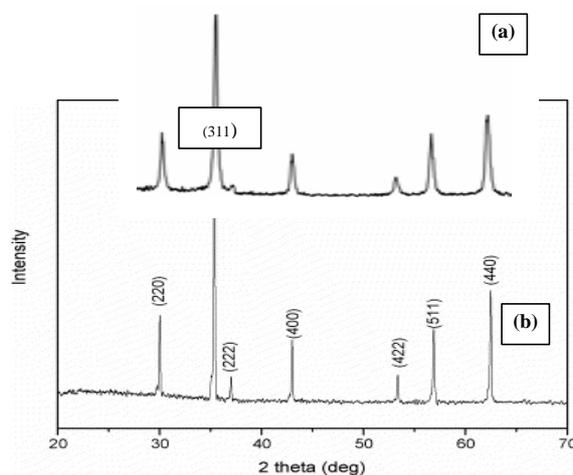
atas diaduk selama selang waktu tertentu dan dilakukan pengukuran konsentrasi *MB*.

Degradasi *MB* Menggunakan Bahan Katalis Pasir Besi dan *HSM* dengan Metode Fenton dan Foto Fenton

Hasil optimasi dari sampel Fe_3O_4 (*Aldrich*) tidak dapat sepenuhnya diterapkan kepada sampel pasir besi dan *HSM* mengingat komposisi bahan di dalamnya tidak persis sama walaupun sebagai bahan utamanya adalah Fe_3O_4 . Dengan cara yang sama seperti Fe_3O_4 dilakukan pula percobaan untuk sampel pasir besi dan *HSM* menggunakan parameter waktu homogenisasi, waktu penguraian, konsentrasi H_2O_2 dan penyinaran *UV*/tanpa penyinaran *UV*.

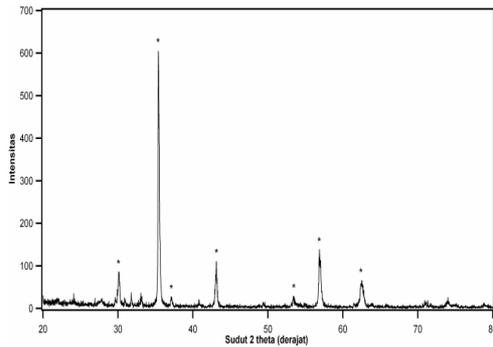
HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil karakterisasi *HSM* dengan difraksi sinar-X ditunjukkan pada Gambar 1(a). Pada difraktogram tersebut tampak bahwa puncak yang memiliki intensitas yang cukup tinggi muncul pada sudut 2θ sekitar 30,095; 35,422; 37,052; 43,052; 53,391; 56,942 dan 62,515. Apabila data 2θ *HSM* dibandingkan dengan data acuan, puncak-puncak tersebut memiliki kesesuaian dengan Fe_3O_4 (*magnetite*) seperti terlihat pada Gambar 1(b). Hal tersebut memang sangat beralasan mengingat limbah *HSM* merupakan limbah dari proses *HSM* dari pabrik baja Krakatau Steel yang berbahan baku Fe.



Gambar 1. Difraktogram *HSM* (a), difraktogram Fe_3O_4 (*magnetite*) dan (b). acuan

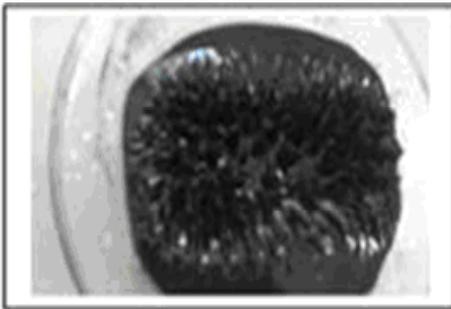
Pada Gambar 2 ditunjukkan difraktogram pasir besi yang berasal dari Kulon Progo Yogyakarta. Puncak-puncak yang diberi tanda (*) yang terdapat pada difraktogram pasir besi memiliki kesesuaian dengan puncak-puncak dari difraktogram Fe_3O_4 (*magnetite*) pada Gambar 1(b). Selain puncak-puncak tersebut, ada puncak-puncak lainnya yang tidak diberi tanda (*) yang merupakan fasa selain Fe_3O_4 (*magnetite*) seperti $\alpha-Fe_2O_3$ (*hematite*). Hal ini membuktikan bahwa pasir



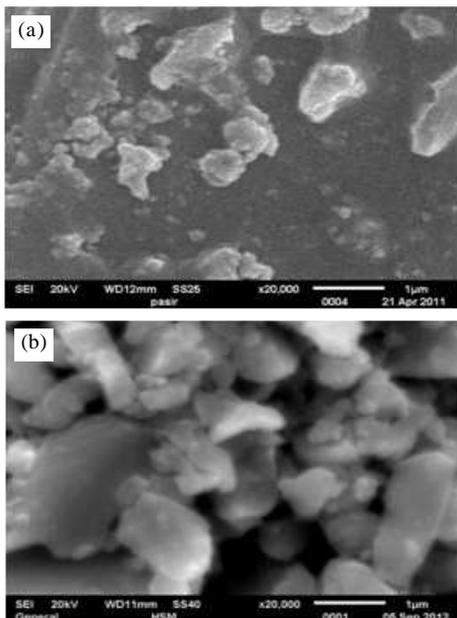
Gambar 2. Difraktogram pasir besi setelah dicuci dan dimilling

besi Kulon Progo memiliki unsur Fe dalam fasa Fe_3O_4 (*magnetite*), disamping terdapat senyawa lainnya yang merupakan penyusun pasir. Data tersebut menunjukkan bahwa proses *milling* dan pencucian tidak dapat memisahkan oksida besi dari fasa lain dengan sempurna.

Secara visual seperti ditunjukkan pada Gambar 3, terlihat bahwa bahan tersebut memiliki ukuran yang sangat halus dan warna yang hitam kelam, dalam keadaan basah terlihat sangat mirip dengan *ferrofluid*. Hasil



Gambar 3. Foto pasir besi setelah dicuci dan dimilling dengan HEM

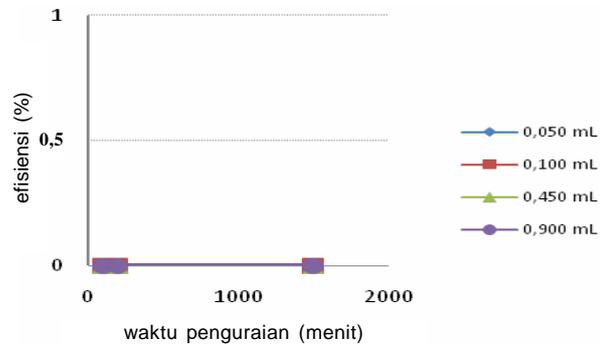


Gambar 4. Foto SEM untuk (a). pasir besi setelah proses milling dan (b). HSM.

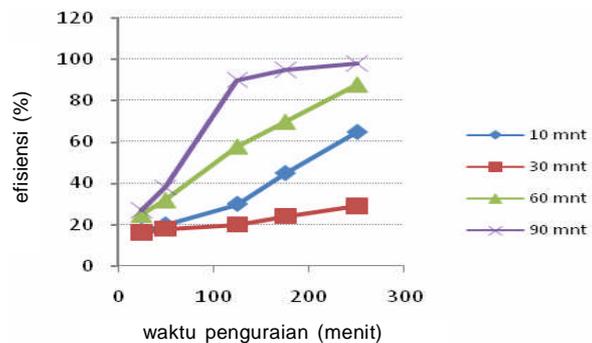
karakterisasi dengan SEM ditunjukkan pada Gambar 4 yang menunjukkan foto pasir besi setelah proses *milling* (a) dan HSM (b). Dari data tersebut dapat dilihat bahwa ukuran pasir dan HSM masing-masing memiliki diameter sekitar $1 \mu m$.

Hasil karakterisasi dengan teknik AAN menunjukkan bahwa dalam pasir besi Kulon Progo dan HSM yang telah dipreparasi masing-masing mengandung unsur Fe sebanyak $86,1 \pm 3,5\%$ dan $71,2 \pm 3,1\%$ berat. Berdasarkan hasil karakterisasi dengan teknik analisis aktivasi neutron, kandungan Fe yang cukup tinggi di dalam pasir Kulon Progo dan HSM memungkinkan kedua bahan tersebut dijadikan sebagai bahan katalis untuk reaksi metode fenton. Hasil SEM menunjukkan bahwa kedua bahan memiliki ukuran butiran yang halus yaitu sekitar $1 \mu m$ sehingga memiliki luas permukaan yang besar dan akan mudah untuk direaksikan. Hasil karakterisasi XRD menunjukkan bahwa fasa di dalam kedua bahan adalah Fe_3O_4 karena itu untuk menguji efektifitas bahan-bahan tersebut perlu dibandingkan dengan Fe_3O_4 komersial (*Aldrich*).

H_2O_2 merupakan penghasil radikal hidroksil ($\bullet OH$) dalam reaksi fenton, namun demikian perlu dibuktikan efektifitas H_2O_2 dalam mendegradasi MB tanpa adanya bahan Fe. Hasil percobaan terhadap pengaruh H_2O_2 terhadap degradasi MB tanpa adanya unsur Fe ditunjukkan pada Gambar 5. Tanpa adanya Fe efektifitas



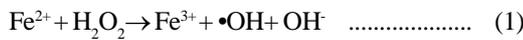
Gambar 5. Pengaruh konsentrasi H_2O_2 dan waktu penguraian terhadap efisiensi degradasi MB dengan metode fenton tanpa katalis Fe.



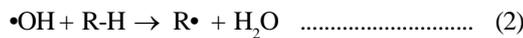
Gambar 6. Pengaruh waktu homogenisasi dan waktu penguraian terhadap efisiensi degradasi MB dengan metode fenton untuk Fe_3O_4 (*Aldrich*).

degradasi H₂O₂ terhadap MB sangat rendah bahkan nyaris tidak berfungsi. Penambahan konsentrasi H₂O₂ dari 0,050 mL sampai dengan 0,900 mL juga tidak mempengaruhi degradasi MB, efisiensi degradasi 0%. Lama waktu penguraian juga tidak berpengaruh terhadap degradasi MB oleh H₂O₂.

Hasil percobaan pengaruh waktu homogenisasi (pelarutan Fe₃O₄) dan waktu penguraian (pengadukan H₂O₂, MB dan bahan katalis Fe) terhadap efisiensi degradasi MB dengan metode fenton untuk Fe₃O₄ (Aldrich) ditunjukkan pada Gambar 6. Hasil percobaan menunjukkan bahwa bertambahnya waktu homogenisasi meningkatkan efisiensi degradasi. Makin lama waktu homogenisasi maka jumlah Fe₃O₄ yang terlarut dalam asam encer menjadi Fe²⁺ semakin banyak. Selanjutnya Fe²⁺ akan menginisiasi terbentuknya radikal bebas hidroksil (•OH) sesuai dengan reaksi pada Persamaan (1).

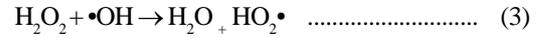


Terlihat pula bahwa pada setiap waktu homogenisasi, efisiensi degradasi mengalami peningkatan dengan bertambahnya waktu penguraian. Efisiensi degradasi MB hampir mencapai optimum pada waktu penguraian 250 menit untuk waktu homogenisasi 90 menit. Bertambahnya waktu penguraian memungkinkan terjadinya jumlah tumbukan antara radikal •OH dengan MB bertambah, sehingga MB yang terdegradasi meningkat. Reaksi yang terjadi ditunjukkan pada Persamaan (2), dimana MB diasumsikan sebagai R-H.



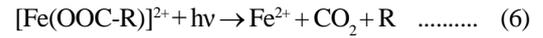
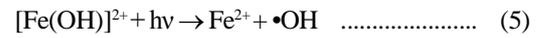
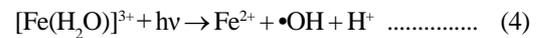
Efisiensi degradasi MB meningkat dengan bertambahnya konsentrasi H₂O₂ seperti ditunjukkan pada Gambar 7. Terjadi peningkatan efisiensi degradasi ketika H₂O₂ yang ditambahkan bertambah dari 0,025 mL, 0,050 mL dan 0,075 mL. Hal ini dapat dimengerti karena makin banyak H₂O₂ yang ditambahkan makin banyak pula radikal hidroksil (•OH) yang terbentuk sehingga degradasi MB meningkat seperti reaksi (1) dan reaksi

(2). Namun demikian ketika H₂O₂ yang ditambahkan berlebih (0,150 mL) maka efisiensi degradasi MB mengalami penurunan yang drastis. Penjelasan adalah bahwa adanya konsentrasi H₂O₂ yang berlebih dapat meningkatkan reaksi seperti pada Persamaan (3).

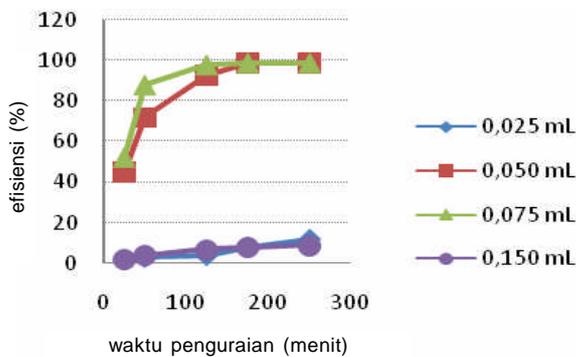


Konsentrasi H₂O₂ yang berlebih akan mengonsumsi radikal •OH yang terbentuk pada Persamaan (1) sehingga konsentrasi radikal •OH berkurang dan reaksi degradasi pada Persamaan (2) mengalami penurunan [5].

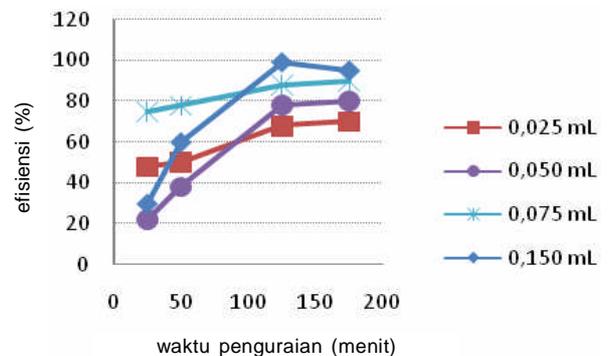
Hasil degradasi MB dengan metode fenton telah dijelaskan dengan beberapa parameter seperti waktu homogenisasi, waktu penguraian dan konsentrasi H₂O₂. Pada Gambar 8 ditunjukkan hasil percobaan pengaruh konsentrasi H₂O₂ dan waktu penguraian terhadap efisiensi degradasi MB dengan metode foto fenton untuk Fe₃O₄ (Aldrich). Pada percobaan ini digunakan energi foton dari sinar UV selama proses penguraian. Dari hasil yang diperoleh menunjukkan bahwa secara umum waktu degradasi/penguraian menjadi lebih singkat dibandingkan proses fenton tanpa adanya pengaruh UV (lihat Gambar 7). Pada proses foto fenton, selain terjadi reaksi (1), reaksi (2) dan reaksi (3) maka akan terjadi pula reaksi lain yang diinisiasi oleh adanya foton seperti reaksi (4), reaksi (5) dan reaksi (6). Ligan-ligan seperti basa Lewis (OH⁻, H₂O, R-COO⁻) mampu membentuk kompleks dengan ion Fe³⁺ [7].



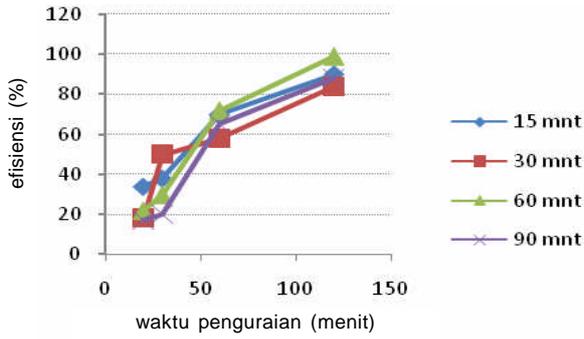
Adanya energi foton mempercepat terbentuknya radikal hidroksil (•OH) yang pada akhirnya mempersingkat waktu degradasi dan meningkatkan efisiensi degradasi. Hasil yang sama juga berlaku pada percobaan pengaruh waktu homogenisasi dan waktu penguraian terhadap efisiensi degradasi MB dengan



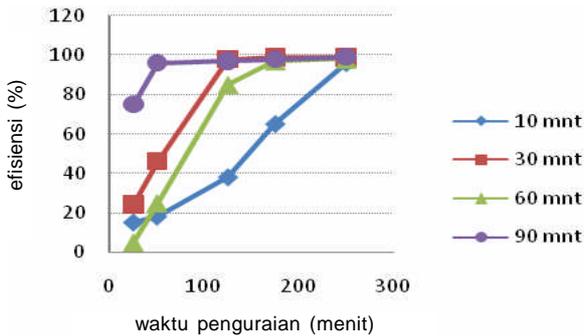
Gambar 7. Pengaruh konsentrasi H₂O₂ dan waktu penguraian terhadap efisiensi degradasi MB dengan metode fenton untuk Fe₃O₄ (Aldrich).



Gambar 8. Pengaruh konsentrasi H₂O₂ dan waktu penguraian terhadap efisiensi degradasi MB dengan metode foto fenton untuk Fe₃O₄ (Aldrich).



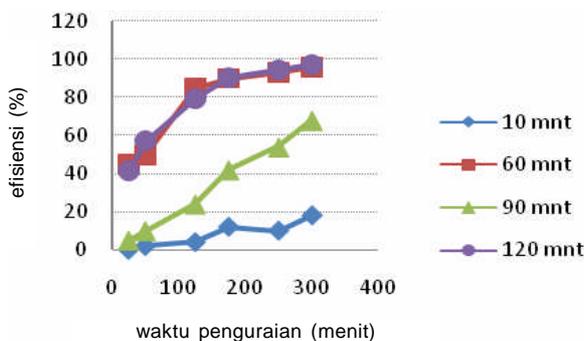
Gambar 9. Pengaruh waktu homogenisasi dan waktu penguraian terhadap efisiensi degradasi MB dengan metode foto fenton untuk Fe₃O₄ (Aldrich).



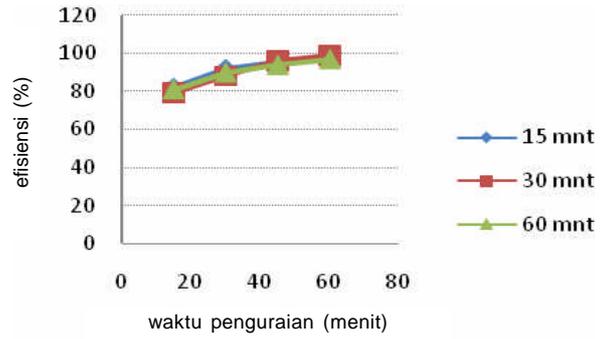
Gambar 10. Pengaruh waktu homogenisasi dan waktu penguraian terhadap efisiensi degradasi MB dengan metode fenton untuk HSM.

metode foto fenton untuk Fe₃O₄ seperti yang ditunjukkan pada Gambar 9. Dari data tersebut terlihat bahwa hanya dibutuhkan waktu sekitar 120 menit sehingga proses degradasi mencapai optimum.

Gambar 10 dan Gambar 11 adalah hasil percobaan variasi waktu homogenisasi dan penguraian masing-masing untuk sampel HSM dan pasir besi. Terlihat bahwa dengan naiknya waktu penguraian efisiensi degradasi bertambah pula. Akan tetapi tidak demikian halnya dengan waktu homogenisasi, memiliki pola yang berbeda untuk percobaan yang sama tetapi sampel yang berbeda yaitu Fe₃O₄ seperti ditunjukkan pada Gambar 6. Dari ketiga bahan yang digunakan untuk percobaan metode fenton, sampel HSM memiliki hasil yang relatif lebih baik dibandingkan Fe₃O₄ maupun pasir besi, sampel HSM



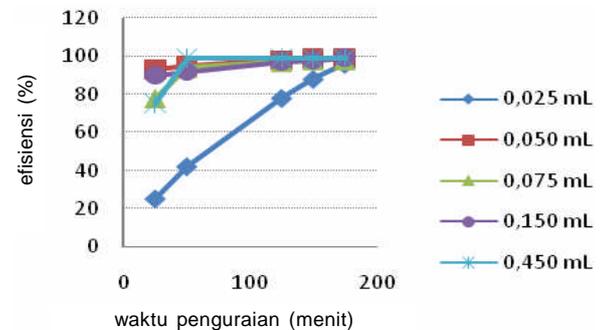
Gambar 11. Pengaruh waktu homogenisasi dan waktu penguraian terhadap efisiensi degradasi MB dengan metode fenton untuk pasir.



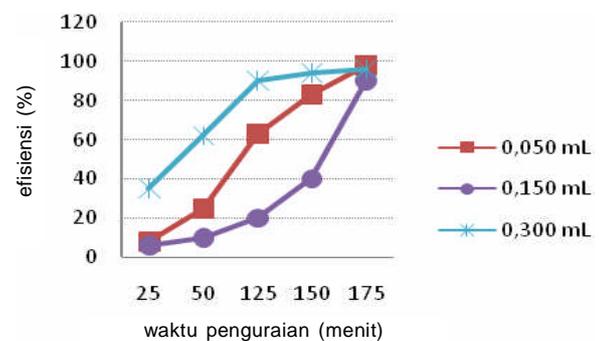
Gambar 12. Pengaruh waktu homogenisasi dan waktu penguraian terhadap efisiensi degradasi MB dengan metode foto fenton untuk HSM.

lebih mudah larut (homogen) sehingga pembentukan ion Fe²⁺ lebih mudah dan lebih banyak dalam waktu homogenisasi yang sama. Sedangkan dengan metode foto fenton hasil yang sangat memuaskan juga diperoleh oleh sampel HSM seperti terlihat pada Gambar 12. Efisiensi degradasi mencapai sekitar 80 % dalam waktu 15 menit. Lama penguraian untuk mencapai hasil optimum juga lebih singkat yaitu sekitar 60 menit. Hasil ini lebih baik dibandingkan percobaan yang sama untuk sampel Fe₃O₄ seperti ditunjukkan pada Gambar 9.

Pada Gambar 13 dan Gambar 14 ditunjukkan hasil percobaan pengaruh konsentrasi H₂O₂ dan waktu penguraian terhadap efisiensi degradasi MB dengan metode fenton untuk HSM dan pasir besi. Efisiensi degradasi bertambah dengan bertambahnya lama



Gambar 13. Pengaruh konsentrasi H₂O₂ dan waktu penguraian terhadap efisiensi degradasi MB dengan metode fenton untuk katalis HSM.



Gambar 14. Pengaruh konsentrasi H₂O₂ dan waktu penguraian terhadap efisiensi degradasi MB dengan metode fenton untuk katalis pasir besi.

penguraian untuk masing-masing konsentrasi H_2O_2 yang ditambahkan. Pola kenaikan efisiensi degradasi terhadap penambahan jumlah H_2O_2 tidak begitu jelas dan agak berbeda dibandingkan Fe_3O_4 . Pada Fe_3O_4 (Gambar 7) penambahan H_2O_2 sebesar 0,150 mL sudah berlebih sehingga terjadi penurunan efisiensi akibat terjadinya reaksi (3), tetapi hal tersebut tidak terjadi pada *HSM* dan pasir besi. Dari Gambar 13, Gambar 14 dan Gambar 7, terlihat bahwa efisiensi degradasi *HSM* relatif lebih baik dibandingkan dengan Fe_3O_4 dan pasir besi, demikian pula dalam hal kecepatan mencapai kondisi optimumnya seperti waktu homogenisasi dan waktu penguraian.

KESIMPULAN

Telah berhasil dibuat bahan katalis untuk reaksi fenton dari sumber daya alam lokal yaitu pasir dari daerah Kulon Progo dan *HSM* yang merupakan *mill scale* (limbah) pabrik baja Karakatau Steel. Hasil karakterisasi menunjukkan bahwa pasir Kulon Progo dan *HSM* yang telah dipreparasi memiliki fasa Fe_3O_4 (*magnetite*) disamping fasa lainnya dan masing-masing memiliki kandungan Fe sebesar 86 % dan 71 %. Ke dua bahan tersebut telah berfungsi dengan baik sebagai katalis fenton sehingga dapat digunakan untuk pengolahan limbah organik. Dari kedua bahan yang dibuat, *HSM* memiliki kinerja yang sangat baik sebagai katalis fenton/foto fenton untuk mendegradasi *methylene blue* sebagai representasi limbah organik, bahkan lebih baik dibandingkan bahan Fe_3O_4 komersial. Penggunaan SDA pasir besi dan limbah pabrik baja sebagai bahan katalis fenton dapat menurunkan biaya pengolahan limbah dibandingkan penggunaan bahan katalis fenton yang diperoleh dari luar negeri.

UCAPAN TERIMAKASIH

Penulis mengucapkan terimakasih kepada semua pihak yang telah membantu penelitian ini sehingga penelitian dapat diselesaikan tepat waktu yaitu Kepala Pusat Teknologi Bahan Industri Nuklir dan Kepala Bidang Karakterisasi dan Analisis Nuklir atas dukungan dana, rekan-rekan lain para penyelia dan operator AAN, SEM,

XRD dan spektrofotometri UV-VIS atas uji karakterisasi yang telah dilakukan.

DAFTAR ACUAN

- [1]. www.kabar24.com, Pencemaran Lingkungan : Dari 75 % Sungai di Indonesia Tercemar Berat, 27 Maret (2013)
- [2]. Keputusan Menteri Negara Lingkungan Hidup Nomor 122 Tahun 2004 Tentang Perubahan Atas Keputusan Menteri Negara Lingkungan Hidup Nomor : KEP-51/MENLH/10/1995 Tentang Baku Mutu Limbah Cair Bagi Kegiatan Industri .
- [3]. A. H. MUKAROMAH, YUSRIN, E. MUBIARTI, *Seminar Hasil-Hasil Penelitian- LPPM UNIMUS*, (2012)
- [4]. PARSONS, SIMON, *Advanced Oxidation Processes for Water and Wastewater Treatment*, London, IWA Publishing, (2004)
- [5]. M. VEDRENNE, R. V. MEDRANO, D. P. GARCIA, B. A. F. URIBE, M. H. ESPARZAA, J. M. ANDRÉS, *J. of Hazardous Materials*, **243** (2012) 292-301
- [6]. M. W. CHANG, J. M. CHERN, *J. of the Taiwan Institute of Chemical Engineers*, **41** (2010) 221-228
- [7]. A. N. SOON, B.H. HAMEED, *Desalination*, **269** (2011) 1-16
- [8]. N. ERTUGAY, F. N. ACAR, *Arabian Journal of Chemistry*, (article in press) (2013)
- [9]. V. ARANTES, C. BALDOCCHI, A. M. F. MILAGRES, *Chemosphere*, **63** (2006) 1764-1772
- [10]. J.M. MONTEAGUDO, A. DURAN, I. SAN MARTÍN, M. AGUIRRE, *Applied Catalysis B: Environmental*, **89** (2009) 510-518
- [11]. J. KIWI, C. PULGARIN, P. PERINGER, *Applied Catalysis B Environmental*, **3** (1994) 335-350
- [12]. G. B. ORTIZ DE LA PLATA, O. M. ALFANO, A. E. CASSANO, *J. of Photochemistry and Photobiology A: Chemistry*, **233** (2012) 53-59
- [13]. C. L. YAP, S. GAN, H. KIAT NG, *Chemosphere*, **83** (2011) 1414-1430
- [14]. J. J. PIGNATELLO, E. OLIVEROS, A. MACKAY, *Crit. Rev. Environ. Sci. Technol.*, **36** (2006) 1-84