

# PROSES FOTOKATALITIK DENGAN KATALIS TiO<sub>2</sub> MENGUNAKAN REAKTOR MULTIPLATE UNTUK MENYISIHKAN GAS NO<sub>x</sub>

## PHOTOCATALYTIC PROCESS USING TiO<sub>2</sub> AND MULTIPLATE REACTOR FOR REMOVAL NO<sub>x</sub>

Rachmat Boedisantoso<sup>1)</sup> dan Puji Lestari<sup>2)</sup>

<sup>1)</sup> Jurusan Teknik Lingkungan FTSP-ITS Surabaya

<sup>2)</sup> Jurusan Teknik Lingkungan FTSP-ITB Bandung

### Abstrak

Penelitian ini dilakukan untuk mengetahui kinerja suatu proses fotokatalitik dengan katalis TiO<sub>2</sub> dimana TiO<sub>2</sub> ditempatkan pada reaktor *multiplate* dengan aliran kontinu dan disinari UV untuk menyisihkan gas NO<sub>x</sub> yang berasal dari gas murni. Hasil penelitian ini menunjukkan bahwa Proses Fotokatalitik dengan menggunakan katalis TiO<sub>2</sub> sangat dipengaruhi oleh intensitas sinar yang diterima, dimana dalam penelitian ini intensitas terbaik dengan menggunakan sinar UV 20 W 220 V. Konsentrasi inlet NO<sub>x</sub> antara 1,00 – 1,75 ppm merupakan konsentrasi inlet yang dapat disisihkan dengan baik. Jarak antar plate, menentukan kemampuan penyisihan oleh TiO<sub>2</sub> dimana pada jarak antar plate 2,0 cm dihasilkan efisiensi penyisihan yang baik. Pada ketiga kondisi diatas efisiensi penyisihan dapat mencapai ± 62 %.

Kata kunci : adsorpsi, fotokatalitik, oksida nitrogen, titanium dioksida.

### Abstract

Photocatalytic using UV light and semiconductor particle is an alternative solution for removal NO<sub>x</sub>. This study is about the removal of NO<sub>x</sub> originated from pure gas with photocatalytic process using TiO<sub>2</sub>, where the TiO<sub>2</sub> are placed in a continuous flow multiplate reactor and beamed by UV light. This study examined the effect of the plates spacing variation, initial concentration of NO<sub>x</sub>, and the use of UV light and catalyzes. NO<sub>x</sub> analyzed using Horiba NO<sub>x</sub> Analyzer with 0.8 lt/min flow rate. The result showed that photocatalytic process using TiO<sub>2</sub> depend on UV light intensity, the plates spacing variation and initial concentration of NO<sub>x</sub>. Removal efficiency of photocatalytic process using TiO<sub>2</sub> ± 62 % at the optimal condition.

Keywords : adsorption, photocatalytic, nitrogen oxide, titanium dioxide.

## 1. PENDAHULUAN

Sumber pencemar udara dapat dibedakan menjadi dua kategori (Mycock dkk, 1995), yaitu *natural* (alami) dan *man-made* (anthropogenik). Salah satu gas penyebab terjadinya pencemar udara anthropogenik yang kadarnya semakin meningkat adalah Oksida Nitrogen. Oksida nitrogen (NO<sub>x</sub>) merupakan gas yang terbentuk selama proses pembakaran berbagai jenis bahan bakar, baik yang berasal dari sumber tidak bergerak maupun sumber bergerak. Diperkirakan diseluruh dunia sebesar 19,5 juta ton NO<sub>x</sub> diemisikan pada tahun 1987 dimana 43% berasal dari sumber bergerak (Benitez, 1993). Sedangkan di Indonesia, tepatnya di kota Bandung sekitar 2.800 ton/tahun NO<sub>x</sub> diemisikan dan sekitar 1.576,2 ton/tahun (± 56 %) diemisikan oleh transportasi kendaraan bermotor di kota Ban-

dung pada tahun 1990 (Mustikahadi Soedomo, 1990).

Gas NO<sub>x</sub> adalah merupakan gas yang menyebabkan terjadinya fotokimia di udara. Gas NO<sub>x</sub> pada umumnya berupa nitrogen oksida (NO) dan nitrogen dioksida (NO<sub>2</sub>). Nitrogen oksida (NO) merupakan gas yang tidak berwarna, dan berperan sebagai prekursor terbentuknya nitrogen dioksida (NO<sub>2</sub>). Nitrogen oksida (NO) bereaksi dengan sinar matahari, uv dan oksigen, O<sub>2</sub> diudara akan membentuk ozon, O<sub>3</sub> dan nitrogen dioksida, NO<sub>2</sub>. Nitrogen dioksida (NO<sub>2</sub>) adalah senyawa aktif pada pembentukan smog fotokimia, merupakan gas berwarna coklat kekuningan dan dapat terlihat jelas pada konsentrasi satu ppm.

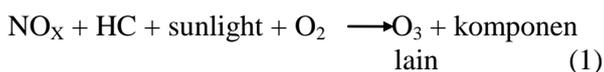
Oksida Nitrogen (NO<sub>x</sub>) merupakan gas pencemar udara yang kadarnya semakin lama semakin me-

tingkat. Oksida Nitrogen ( $\text{NO}_x$ ) Dapat diemisikan baik dari sumber tidak bergerak maupun sumber bergerak, yaitu kendaraan bermotor. 34% Oksida nitrogen ( $\text{NO}_x$ ) merupakan emisi yang dihasilkan dari sumber kendaraan bermotor pada tahun 1990 di United States.

Berdasarkan data yang dikeluarkan oleh Faiz dkk, (1992) dalam Cooper dan Alley, (1994) selama kurang lebih 40 tahun terakhir, terjadi pertumbuhan yang cukup berarti terhadap penggunaan kendaraan bermotor di dunia (lebih dari 10 kali lipat) sesuai dengan pertumbuhan populasi di dunia (yang telah meningkat 2 kali lipat)

Dalam penelitian ini tujuan yang hendak dicapai adalah untuk mengetahui kinerja reaktor Multi-Plate guna menyisihkan gas  $\text{NO}_x$  dari gas murni dengan menggunakan proses fotokatalitik  $\text{TiO}_2$  dan karbon aktif

Gas  $\text{NO}_x$  biasanya berupa  $\text{NO}$  dan  $\text{NO}_2$ . Gas  $\text{NO}_x$  adalah merupakan gas yang menyebabkan terjadinya *photochemical* di udara. Oksida nitrogen bereaksi dengan sinar matahari, UV dan oksigen di udara akan membentuk ozon,  $\text{O}_3$  dan Nitrogen dioksida,  $\text{NO}_2$ .  $\text{O}_3$  dan  $\text{NO}_2$  kemudian bereaksi dengan hidrokarbon (HC), HC akan membentuk *aldehydes*, *organic oxidants* dan *suspended particulate matter*. Reaksi tersebut dapat dilihat pada Persamaan 1 berikut ini.



Salah satu cara untuk mereduksi  $\text{NO}_x$  adalah dengan proses fotokatalitik. Proses fotokatalitik terjadi apabila materi semikonduktor disinari oleh UV, maka akan terbentuk suatu pasangan elektron ( $e^-$ ) dan hole ( $h^+$ ) yang mampu melakukan terjadinya reaksi kimia oksidasi dan reduksi. Hole yang terbentuk dapat bereaksi dengan uap air membentuk suatu ion hidroksil, sedangkan elektron yang terbentuk dapat bereaksi dengan molekul oksigen membentuk ion superoksida, selanjutnya ion superoksida dapat bereaksi dengan  $\text{H}_2\text{O}$  dan membentuk hidroksil radikal. Hidroksil radikal merupakan suatu oksidator yang sangat reaktif dan dapat bereaksi dengan  $\text{NO}_x$ , sehingga terbentuk ion nitrat ataupun ion nitrit.

Lebih dari 70 unit pengolahan dengan katalitik ini digunakan di Jepang (laporan EPA 1983) dan baru

pada tahun 90-an sistem ini dapat diterima di United States. Proses fotokatalitik ini dapat mereduksi  $\text{NO}_x$  lebih dari 90%. Beberapa perusahaan di Jepang telah membuat dan mengembangkan sistem fotokatalitik dengan menggunakan reaktor "Multi-Plate", dimana pengoperasian sistem ini mengikuti pemasangan *Electrostatic Precipitator* untuk menyisihkan buangan partikel dan gas pada terowongan jalan yang panjang.

Pada tahun 1993 telah diadakan penelitian mengenai kemampuan katalitik untuk menyisihkan  $\text{NO}_x$ , trichloroethylene (TCE), chloro- dan nitrophenol, VOC dll. Bahkan telah dikembangkan beberapa bahan katalitik yang telah diproduksi skala besar (pabrik), di antaranya NGK, Honeyceram, Degussa P25 dll. Salah satu bahan yang dapat dipergunakan untuk proses fotokatalitik diantaranya adalah titanium dioksida ( $\text{TiO}_2$ ), dimana  $\text{TiO}_2$  ini akan bekerja dengan baik apabila terkena sinar UV, khususnya untuk mereduksi  $\text{NO}_x$ .

Selama proses,  $\text{TiO}_2$  selain melakukan proses fotokatalitik juga melakukan adsorpsi, untuk itu guna meningkatkan kemampuan penyisihan  $\text{NO}_x$  maka dicampurkan karbon aktif untuk menambah kemampuan adsorpsi  $\text{NO}_x$ . Selain itu campuran  $\text{TiO}_2$  dan karbon aktif dapat dipergunakan sebagai bahan proses fotokatalitik yang baik untuk menyisihkan gas  $\text{NO}_x$  dari udara

## 2. METODOLOGI

Reaktor Fotokatalitik berbentuk tabung bulat dengan panjang reaktor 55 cm, yang terdiri dari tabung reaktor luar dan tabung reaktor dalam. Tabung reaktor luar terbuat dari flexiglass berukuran dalam 5,46 cm tempat katalis diletakkan, yang dilapisi isolasi penahan sinar dibagian luar. Didalam tabung reaktor luar terdapat tabung reaktor dalam yang merupakan tabung *glass* dimana didalamnya dapat diletakkan lampu UV, sepanjang tabung *glass* tersebut diletakkan plate-plate pada jarak tertentu, diameter tabung *glass* 3,17 cm. Lampu UV yang dipergunakan merupakan lampu UV *black light* dengan daya 20 watt dan panjang gelombang maksimum 310 nm.

Penelitian ini mempergunakan gas murni, dimana gas  $\text{NO}_x$  murni yang dipergunakan dibuat dengan mereaksikan antara tembaga dengan asam nitrat, dengan reaksi yang terlihat pada Persamaan 2 dan Persamaan 3 berikut.

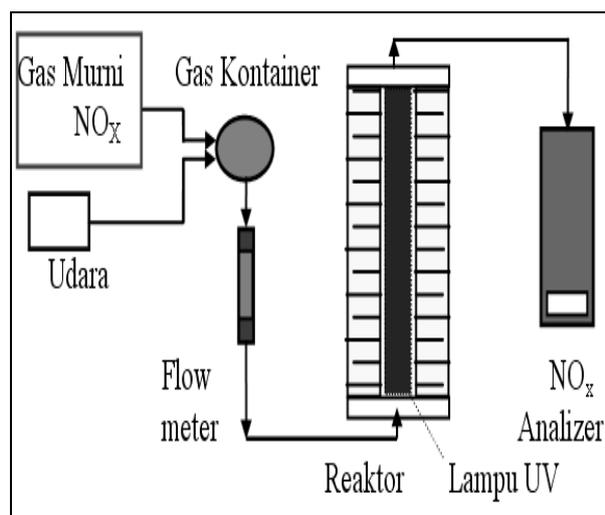


Gas NO dan NO<sub>2</sub> (NO<sub>x</sub>) yang dihasilkan dari reaksi ini mempunyai konsentrasi yang sangat tinggi.

Katalis/bahan yang dipergunakan adalah TiO<sub>2</sub> dan Karbon Aktif, kedua bahan berbentuk serbuk. Katalis TiO<sub>2</sub> (Titanium dioksida) berbentuk serbuk berwarna putih yang mempunyai daya adhesi yang sangat tinggi, dimana TiO<sub>2</sub> ini dapat menempel pada dinding reaktor sebelah dalam tanpa bantuan media perekat. Demikian juga halnya dengan karbon aktif yang berbentuk serbuk berwarna hitam.

Reaktor disusun seperti pada Gambar 1. Bagian inlet reaktor dihubungkan dengan pipa/slang dari gas kontainer, sedangkan bagian outlet dihubungkan dengan slang pembacaan NO<sub>x</sub> analizer. Bila penelitian mempergunakan lampu UV, lampu UV diletakkan ditengah tabung reaktor dalam dan dihubungkan dengan arus AC/ listrik.

Reaktor yang telah dipersiapkan dijalankan dengan variasi konsentrasi, jarak antar plate dan tanpa/dengan UV 20 W 110 V dan 220 V. Setelah pengukuran stabil mencatat pengukuran pada monitor rerata 3 menit untuk waktu pengukuran 30 menit atau rerata 30 menit untuk pengukuran lebih dari 10 jam. Setiap menjalankan reaktor sebelum/ sesudah dijalankan dilakukan kontrol dengan reaktor tanpa katalis TiO<sub>2</sub> dan atau karbon aktif.



**Gambar 1.** Rangkaian Reaktor Fotokatalitik

Gas NO<sub>x</sub> ditempatkan pada suatu kontainer yang terbuat dari polietilen berwarna hitam dengan total

volume 300 liter. Gas NO<sub>x</sub> ini dialirkan ke dalam reaktor fotokatalitik melalui pipa/slang silicon. Gas NO<sub>x</sub> yang keluar dari reaktor fotokatalitik secara kontinu diukur oleh NO<sub>x</sub> Analizer dan rerata 3 menit dicatat

Variasi yang dilakukan dalam penelitian ini adalah variasi jarak antar plate, yaitu : 1 cm, 1,5 cm, dan 2,0 cm; variasi lampu UV yang dipergunakan, yaitu : tanpa lampu UV, lampu UV dengan daya 20 watt, 110 volt dan lampu UV 20 watt, 220 volt. Dimana variasi ini nantinya akan diukur intensitas cahaya ultravioletnya; variasi konsentrasi gas NO<sub>x</sub> murni, yaitu : 0,05-1,00 ppm, 1,00-1,75 ppm dan 1,75 -2,50 ppm.

Kalibrasi merupakan langkah pertama dalam penelitian ini. Kalibrasi dilakukan terhadap peralatan-peralatan yang akan dipergunakan agar hasil yang didapatkan sesuai dengan yang diharapkan. Kalibrasi dilakukan terhadap peralatan ukur diantaranya alat ukur debit (*flow rate*) dan NO<sub>x</sub> analizer.

Gas NO<sub>x</sub> murni dengan konsentrasi tinggi dibuat dengan mereaksikan antara tembaga dengan asam nitrat dalam gas generator. Hasil yang didapat berupa NO<sub>x</sub> dengan konsentrasi tinggi ditempatkan dalam gas kontainer/ balon.

Gas NO<sub>x</sub> dengan konsentrasi tinggi diencerkan dengan udara bebas hingga konsentrasi gas menjadi sesuai dengan yang diinginkan, yaitu : 0,05 - 1,00 ppm, 1,00-1,75 ppm, 1,75-2,00 ppm dan ditempatkan dalam gas kontainer.

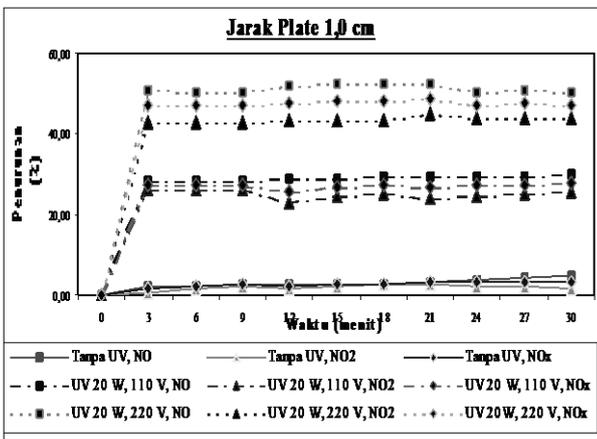
Katalis TiO<sub>2</sub> yang telah dipersiapkan ditimbang terlebih dahulu. Kemudian katalis TiO<sub>2</sub> tersebut ditempelkan pada permukaan sebelah dalam tabung atau reaktor luar. Sisa katalis TiO<sub>2</sub> yang tidak menempel pada permukaan tabung ditimbang kembali. Katalis yang terpakai merupakan selisih berat sebelum dan sesudah ditempelkan. Setelah katalis menempel pada permukaan tabung tersebut, tabung reaktor dalam dimasukkan ke dalam tabung reaksi luar dan kemudian kedua ujung tabung yang telah menjadi satu ditutup.

### 3. HASIL DAN PEMBAHASAN

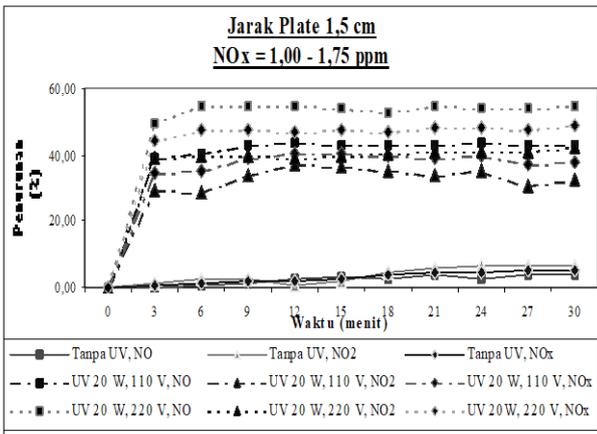
Penelitian dengan menggunakan katalis TiO<sub>2</sub> dan gas murni, jarak plate bervariasi 1,0 cm, 1,5 cm dan 2,0 cm serta konsentrasi awal NO<sub>x</sub> bervariasi yaitu 0,05 – 1,00 ppm, 1,00 – 1,75 ppm dan 1,75 –

2,50 ppm. Dengan variasi kondisi tanpa lampu UV, dengan menggunakan sinar UV 110 V dan sinar UV 220 V. Pada jarak antar plate 1,0 cm baik pada konsentrasi awal 0,05 – 1,00 ppm, 1,00 – 1,75 ppm dan 1,75 – 2,50 ppm, dan pada kondisi tanpa sinar dan dengan sinar UV. Hal sama juga terjadi untuk jarak plate 1,5 cm dan 2,0 cm baik pada ketiga variasi konsentrasi awal maupun kondisi tanpa dan dengan penyinaran UV. Hal ini dapat dilihat pada Gambar 2, Gambar 3 dan Gambar 4 dimana efisiensi penyisihan mencapai ±47%.

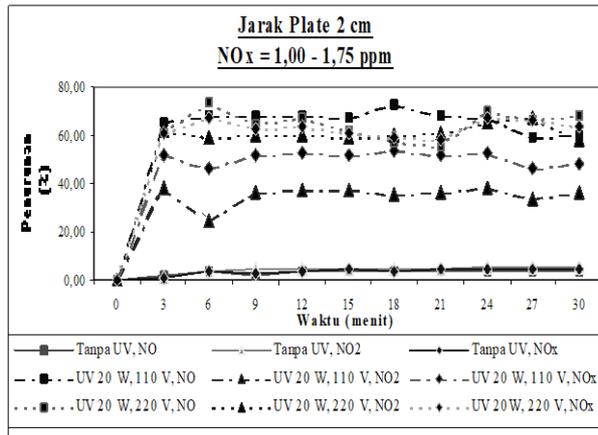
Dari Gambar 2, Gambar 3 dan Gambar 4, terlihat bahwa pada jarak plate 1,5 cm efisiensi penyisihan dapat mencapai ± 47 % sedangkan pada jarak plate 2,0 cm efisiensi dapat mencapai ± 62 %.



**Gambar 2.** Hubungan Antara Efisiensi Penurunan Terhadap Waktu Untuk Jarak Plate 1,0 cm, Dengan Konsentrasi Awal Nox = 1,00 – 1,75 ppm



**Gambar 3.** Grafik Hubungan Antara Efisiensi Penurunan Terhadap Waktu Untuk Jarak Plate 1,5 cm Dengan Konsentrasi Awal NO<sub>x</sub> = 1,00 – 1,75 ppm.



**Gambar 4.** Grafik Hubungan Antara Efisiensi Penurunan Terhadap Waktu Untuk Jarak Plate 2 cm, Konsentrasi Awal NO<sub>x</sub> = 1,00 – 1,75 ppm.

Bila dilihat dari gambar-gambar di atas efisiensi penyisihan terbaik pada kondisi dengan penggunaan sinar UV 20 W, 220 V. Dari Gambar tersebut juga terlihat bahwa kondisi cenderung stabil terjadi pada waktu 9 menit. Hasil perhitungan dengan waktu 9 menit terhadap efisiensi penyisihan pada ketiga kondisi penyinaran dapat dilihat pada Tabel 1 di bawah ini

**Tabel 1.** Efisiensi Penyisihan Pada Waktu 9 Menit

Jarak Plate (cm).	Konsentrasi awal NO <sub>x</sub> (ppm)	Tanpa Lampu (%)	UV 20 W, 110 V (%)	UV 20 W, 220 V (%)
1,0	0,05 – 1,00	2,3157	24,9451	28,3751
	1,00 – 1,75	2,4242	27,4112	47,0552
	1,75 – 2,50	0,9153	17,8719	21,7067
1,5	0,05 – 1,00	4,7900	18,3377	43,2228
	1,00 – 1,75	1,8622	38,8764	47,3804
	1,75 – 2,50	1,7940	10,3123	22,8772
2,0	0,05 – 1,00	2,8583	44,8341	52,5300
	1,00 – 1,75	3,0478	51,8248	62,4589
	1,75 – 2,50	4,2960	21,8873	35,0934

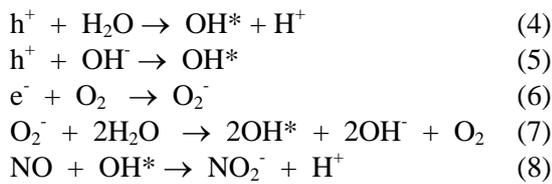
Dari Tabel 1. terlihat pada kondisi tanpa penyinaran UV, efisiensi penyisihan sangat kecil < 5%, hal ini menunjukkan bahwa katalis TiO<sub>2</sub> hampir tidak mengalami aktivitas tanpa adanya penyinaran UV atau dengan kata lain bahwa katalis TiO<sub>2</sub> bekerja secara fotokatalitik dengan penyinaran sinar UV.

Lebih jauh lagi apabila dibandingkan penyinaran dengan sinar UV 20 W 110 V dan sinar UV 20 W 220 V terlihat bahwa efisiensi penyisihan NO<sub>x</sub> dengan sinar UV 20 W 220 V lebih besar 15%-30%. Sinar UV dengan 220 V mempunyai intensitas se-

besar 30,2 μW/cm<sup>2</sup>, yang lebih besar dari intensitas sinar UV dengan 110 V sebesar 9,0 μW/cm<sup>2</sup>, hal ini menunjukkan bahwa efisiensi penyisihan pada proses fotokatalitik dipengaruhi oleh besarnya intensitas sinar yang dihasilkan.

Besarnya intensitas sangat berhubungan dengan banyaknya h<sup>+</sup> dan e<sup>-</sup> yang dihasilkan oleh katalis TiO<sub>2</sub>, dimana intensitas sinar yang lebih besar akan menghasilkan h<sup>+</sup> dan e<sup>-</sup> yang lebih banyak, yang dapat menyebabkan terbentuknya hidroksil radikal (OH\*) yang lebih banyak. Hal ini sesuai dengan yang disampaikan oleh Anderson (1990), dalam Ollis (1993), bahwa semakin besar intensitas akan dihasilkan efisiensi yang lebih besar pula.

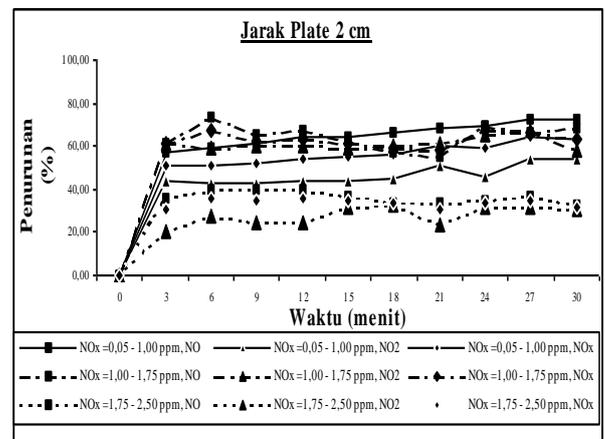
Pada saat kondisi dengan penyinaran UV baik 110 V maupun 220 V terlihat bahwa efisiensi penyisihan NO lebih besar dari pada NO<sub>2</sub>. Disini terlihat bahwa aktifitas fotokatalitik TiO<sub>2</sub> terhadap NO lebih besar dari pada aktifitas fotokatalitik TiO<sub>2</sub> terhadap NO<sub>2</sub>, lebih banyak gas NO yang bereaksi dengan ion hidroksil radikal (OH\*), dengan Persamaan 4 sampai Persamaan 8 berikut.



Konsentrasi NO<sub>x</sub> dari gas murni yang dipergunakan adalah 0,05-1,00 ppm, 1,00-1,75 ppm dan 1,75-2,50 ppm. Pada jarak plate 1,0 cm pada kondisi tanpa sinar UV maupun dengan sinar UV 110 V dan 220 V, seperti pada Tabel 1, terlihat bahwa efisiensi penyisihan tertinggi terjadi pada konsentrasi awal NO<sub>x</sub> antara 1,00 - 1,75 ppm. Hal ini dikarenakan jumlah massa TiO<sub>2</sub> maksimum sebesar 300 mg. Sedangkan untuk dua rentang konsentrasi yang lain terlihat pada konsentrasi awal NO<sub>x</sub> 0,05-1,00 ppm mempunyai efisiensi penyisihan yang lebih baik dibandingkan dengan konsentrasi awal NO<sub>x</sub> 1,75 - 2,50 ppm atau dengan kata lain bahwa untuk konsentrasi awal NO<sub>x</sub> 1,75-2,50 ppm efisiensi penyisihan paling rendah dibandingkan dengan konsentrasi awal yang lain.

Hal yang sama juga terjadi untuk jarak plate 1,5 cm dan 2,0 cm. Dari Gambar 5 dan dari Tabel 1, pada jarak plate 1,5 cm efisiensi penyisihan pada menit ke 9 untuk konsentrasi awal 1,00 - 1,75 ppm

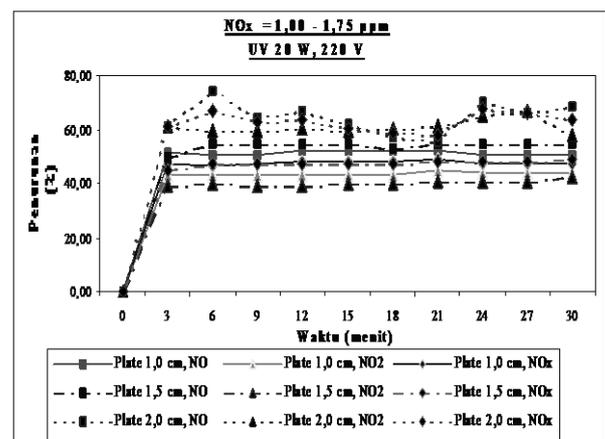
dapat mencapai ± 47 % sedangkan pada jarak plate 2,0 cm efisiensi dapat mencapai ± 62%



Gambar 5. Grafik Hubungan Antara Efisiensi Penurunan Dengan Waktu Pada Jarak Plate 2,0 Cm Dan Sinar UV 20 W 220.

Pada pembahasan sebelumnya, bahwa sinar UV berpengaruh terhadap efisiensi penyisihan NO<sub>x</sub> dimana dengan kondisi sinar UV 220 V mempunyai efisiensi penyisihan yang terbaik. Demikian juga halnya dengan konsentrasi awal NO<sub>x</sub>, dimana konsentrasi awal NO<sub>x</sub> yang terbaik adalah pada konsentrasi awal NO<sub>x</sub> antara 1,00 - 1,75 ppm.

Dari kedua kondisi di atas ditinjau jarak antar plate yang terbaik dari ketiga variasi jarak antar plate. Hubungan antara penyisihan dan waktu pada ketiga variasi jarak plate dibuat suatu grafik, seperti pada Gambar 6 berikut ini.



Gambar 6. Grafik Hubungan Antara Efisiensi Penurunan Dengan Waktu Pada Konsentrasi Awal No<sub>x</sub> 1,00 - 1,75 ppm Dan Sinar UV 20 W 220 V.

Dari Gambar 6 tersebut terlihat bahwa kondisi relatif stabil terjadi pada menit ke 9. Berdasarkan Gambar 6 dan Tabel 1 efisiensi penyisihan terbaik terjadi pada jarak antar plate 2,0 cm.

#### 4. KESIMPULAN

Proses fotokatalitik dengan menggunakan katalis  $\text{TiO}_2$  sangat dipengaruhi oleh intensitas sinar yang diterima, dimana dalam penelitian ini intensitas terbaik dengan menggunakan sinar UV 20 W 220 V. Konsentrasi inlet  $\text{NO}_x$  antara 1,00 – 1,75 ppm merupakan konsentrasi inlet yang dapat disisihkan dengan baik. Dan jarak plate, berpengaruh terhadap kecepatan aliran, menentukan kemampuan penyisihan oleh  $\text{TiO}_2$ . Kecepatan yang lebih rendah dihasilkan efisiensi penyisihan yang lebih baik.

#### DAFTAR PUSTAKA

- Benitez, J. (1993). **Process Engineering and Design for Air Pollution Control**. Prentice-Hall. New Jersey. USA.
- Cooper, C.D., Alley, F.C. (1994). **Air Pollution Control A Design Approach**. Waveland. Illinois. USA.
- De Nevers, N. (1995). **Air Pollution Control Engineering**. Mc Graw Hill. Singapore.
- De Souza, R. (1999). **Household Transportation Use and Urban Air Pollution**. Population Reference Bureau. Washington. USA.
- Dewi, K. (2000). **Penyisihan Oksida Nitrogen ( $\text{NO}_x$ ) secara Fotokatalitik Menggunakan Titanium Dioksida ( $\text{TiO}_2$ )**. Institut Teknologi Bandung
- Soedomo, M. (1990). **Berbagai Kendala Yang Dihadapi & Pemecahannya Dalam Pengolahan Bahan Buangan Industri, Bahan Buangan Gas dan Partikulat**. HMTL. Institut Teknologi Bandung
- Mycock, J.C. McKenna, J.D. dan Theodore, L. (1995) **Handbook of Air Pollution Control Engineering and Technology**. Lewis Publisher. New York
- Noll, K.E. (1999). **Design of Air Pollution Control Devices**. American Academy of Environmental Engineering. USA.
- Ollis, D. F. (1992). **Photocatalytic Purification and Treatment of Water and Air. Proceedings of the 1st International Conference on  $\text{TiO}_2$  Photocatalytic Purification and Treatment of Water and Air**. Elsevier Science. Canada.