



PENGARUH TiO₂ DALAM CAT TEMBOK DAN CAT BESI TERHADAP REDUKSI POLUTAN NO_x

*Nanny Kusminingrum
Asep Sunandar*

RINGKASAN

Telah diketahui bahwa lapisan tipis TiO₂ bertindak sebagai material fotokatalis yang mampu mereduksi atau mengeliminasi polutan di atmosfer seperti NO, NO₂ atau NO_x.

Berdasarkan penelitian-penelitian yang dilakukan di luar negeri, khususnya Jepang, ada beberapa faktor yang mempengaruhi kinerja dari fotokatalis TiO₂, diantaranya Ketebalan lapisan, luas struktur permukaan lapisan, ukuran partikel, intensitas sinar UV dan lain-lain

Penelitian-penelitian tentang fotokatalis di Indonesia relatif masih sedikit. Salah satu institusi yang sedang melakukan penelitian fotokatalis TiO₂ tersebut adalah Pusat Litbang Prasarana Transportasi. Penelitian ini merupakan penelitian lanjutan dari penelitian sebelumnya yang dilakukan pada tahun anggaran 2000/2001.

Maksud penelitian adalah untuk mengetahui kinerja TiO₂ dalam Cat Besi dan cat Tembok terhadap kemampuannya mereduksi polutan NO_x, dengan harapan akan diperoleh komposisi penambahan TiO₂ ke dalam cat yang optimal dalam mereduksi polutan NO_x.

Hasil penelitian menunjukkan bahwa secara keseluruhan kinerja TiO₂ dalam Cat Tembok lebih baik dibandingkan Cat Besi yang ditunjukkan dengan nilai t-test 2 ekor untuk Cat Tembok lebih besar dari standar (0,05). Disamping itu juga, penelitian ini menunjukkan bahwa reduksi polutan NO_x terbesar (59,87%) terjadi pada Cat Tembok yang ditambah TiO₂ 23% (penambahan optimal).

SUMMARY

Titanium dioxide (TiO₂) is well known as a photocatalyst for reduction and elimination of environmental pollutants, such as NO, NO₂ : NO_x. Based on the previous researchs that have been done in some foreign countries, especially Japan, there are several factors influencing the performance of TiO₂ photocatalyst namely film thickness, area structure surface film, particle size, UV intensity and so on.

The research on photocatalyst is relatively scarce in Indonesia. One of many institutions that has been doing photocatalyst research is the Research Institute for Transport Infrastructure. This Study makes up a continuing of prior studies, which has been done in 2000/2001. The purpose of the study is to know performance of TiO₂ in Wall Paint and Iron Paint in order to reduce NO_x pollutant, and to obtain the optimal adding of TiO₂ composition in reducing concentration of NO_x pollutant.

The results are shown that the performance of TiO₂ in the Wall paint is better than the Iron Paint proved by means the t-test 2-tails of the Wall Paint is higher than 0,05. In addition, the study shows that the higher reduction of NO_x pollutant (59.87%) occurs in the Wall Paint added 23% TiO₂ (the optimal adding).

I. PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Asap kendaraan bermotor berupa gas mengandung zat-zat atau bahan-bahan pencemar yang dikeluarkan langsung ke udara melalui corong pembuang. Gas buang yang mengandung elemen-elemen dari pousi udara antara lain: Carbon Monoksida (CO), Sulphur Oksida (SO₂), Oksida Nitrogen (NO), Hydro Carbon (HC), partikel yang terdiri dari asap, atau debu dan lain-lain. Semua elemen tersebut dapat menimbulkan gangguan pada manusia, hewan, tumbuh-tumbuhan dan benda-benda lainnya.

Hasil penelitian dari Departemen maupun lembaga perguruan tinggi menunjukkan bahwa polusi udara di jalan sudah melebihi nilai ambang batas yang diperkenankan. Dari hasil penelitian dan pengukuran

yang telah dilakukan oleh PUSLITBANG PRASARANA TRANSPORTASI, BAPEDAL dan ITB, tingkat kualitas udara di kota-kota besar seperti Jakarta, Surabaya, Bandung dan Semarang diatas 0,1 ppm (NO_x) untuk lokasi road side (1992), sedangkan konsentrasi yang diperkenankan 0,05 ppm. Hal ini sangat berperan terhadap lingkungan khususnya kesehatan manusia.

Salah satu penelitian yang telah dilakukan oleh PUSAT LITBANG PRASARANA TRANSPORTASI untuk mengurangi dampak negatif yang terjadi akibat polusi udara, yaitu meneliti dan mengkaji kinerja TiO₂ dalam cat dalam hubungannya dengan mereduksi polutan No_x.

faktor yang sangat berpengaruh terhadap kinerja TiO₂ dalam mereduksi polutan NO_x salah satunya adalah luas bidang kontak dan besarnya kandungan TiO₂ dalam cat.

1.2 Batasan Masalah

Penelitian ini dilakukan dalam skala laboratorium dengan batasan-batasan sebagai berikut:

1. Hanya satu jenis polutan yang diukur, yaitu NO_x
2. Jenis cat yang digunakan adalah cat tembok dan cat besi
3. Pengukuran NO_x dilakukan pada Box Kaca ukuran 0,50 cm x 0,50 cm x 0,50 cm

1.3 Tujuan Penelitian

Tujuan utama dari penelitian ini adalah mengetahui kinerja TiO₂ dalam Cat Besi dan Cat Tembok dalam mereduksi polutan No_x.

II. TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Jenis Polusi Udara

Polusi udara dapat dikelompokkan kedalam 2 bentuk: gas dan bahan partikulat. Dalam bentuk aslinya, polutan gas dapat dikategorikan lebih jauh kedalam 2 katagori, yaitu :

- Polutan primer : langsung dikeluarkan dari sumber emisi
- Polutan Sekunder: dibentuk dari hasil interaksi kimia antara polutan primer dan unsur-unsur di atmosfer.

Polutan banyak ditemukan dalam bentuk berbagai senyawa utama seperti:

- Sulfur
- Nitrogen
- Karbon
- Oksida Karbon
- Halogen

Bahan partikulat dengan sederhana dapat ditentukan sebagai senyawa baik itu cairan atau padatan, kecuali air murni. Berdasarkan ukurannya, bahan partikulat dapat dibedakan menjadi:

- Partikel kasar, ukuran diameter partikel lebih besar dari 2,5 um
- Partikel halus, ukuran diameter partikel kurang dari 2,5 um.
- Bahan partikulat "inhalable", ukuran diameter partikel kurang dari 10 um.

2.2 Dampak Polusi Udara

Pengaruh yang khas dari beberapa polusi udara terhadap kesehatan manusia, sebagian besar masuk melalui sistem pernapasan.

Di bawah ini dikemukakan sifat, sumber dan akibat pada kesehatan manusia dari adanya polusi udara yang terdapat di lingkungan hidup sesuai dengan pengalaman negara-negara maju (William J. Baumol dan Wallace E. Ates, hal. 45-47)

1. Benda berbentuk butiran (dust)

Sifat : Butiran-butiran baik padat maupun cair yang tersebar di atmosfer, seperti debu, dari tepung, abu, jelaga, logam, serta berbagai bentuk kimia, butiran-butiran tersebut biasanya dikelompokkan menurut ukuran sebagai berikut :

- Lebih besar dari 50 mikron (mengendap)
 - Lebih kecil dari 50 mikron (aerosol)
 - Lebih kecil dari 3 mikron (bahan sangat kecil)
- Sumber : kebakaran hutan, transportasi, pembakaran bahan-bahan padat dll.
Akibat terhadap kesehatan: beracun, asma serta pernapasan terganggu, batuk, dada terasa sesak, menaikan kematian.

2. Sulfur Dioksida (SO₂)

Sifat: gas tak berwarna, bau pedas/tjam, beroksidasi membuat sulfur Trioksida (SO₃) yang dengan air membentuk asam yang mengandung belerang

Sumber: pembakaran bahan bakar fosil, proses industri, transportasi

Akibat pada kesehatan : gangguan pernapasan, emphysema, fungsi paru-paru berkurang, mata terganggu, menaikan kematian

3. Hidro Karbon (HC)

Sifat : bahan organik dalam bentuk gas atau butiran-butiran

Sumber: pembakaran tidak sempurna, bahan bakar serta benda-benda yang mengandung karbon, kebakaran hutan, metabolisme tumbuhan, reaksi atmosfer.

Akibat terhadap kesehatan: mengganggu mata, hidung dan tenggorokan bila terlalu lama kontak dengannya dapat meimbulkan kanker

4. Oksida Nitrogen (NO_x)

Sifat: gas berwarna merah kecoklatan dengan bau tajam

Sumber: pembakaran dalam mesin, pembakaran stationer pada pabrik-pabrik, reaksi atmosfer, transportasi

Akibat pada kesehatan: Salesmphysema, penyakit paru-paru, pada anak-anak menimbulkan penyakit pernapasan, nephritis kronis

5. Karbon Monoksida (CO)

Sifat: tidak berwarna, tidak berbau, berbahaya karena dapat bergabung dengan haemoglobin dalam darah

Sumber: pembakaran tak sempurna bahan bakar, asap rokok, industri

Akibat pada kesehatan: mengurangi kapasitas darah mengangkut O₂, gangguan jiwa, mengganggu perkembangan janin, fungsi panca indra berkurang, kemampuan berpikir berkurang, dll.

6. Timah Hitam (Pb)

Sifat : berat, lunak, unsur kimiawi kelabu, logam yang ditempa

Sumber: asap mobil sepanjang jalan raya, radiator mobil, cat

Akibat pada kesehatan: berakumulasi dengan organ tubuh, gangguan jiwa, anemia

2.3 Mikrostruktur TiO₂

Seperi telah diketahui, sebagai fotokatalis, TiO₂ berfungsi dalam mengeliminasi polutan berbahaya di lingkungan/di atmosfer. Dalam bentuk lapisan tipis, fotokatalis yang tidak berfungsi merupakan hal yang menarik karena fotokatalis tersebut memudahkan proses pemisahan katalis dari aliran yang aktif. Ada 2 tipe lapisan tipis fotokatalis yaitu tipe transparan dan tipe non-transparan (opaque). Tipe transparan menggunakan Polyethylene Glycol (PG; dengan berat molekul 600) sedangkan tipe lainnya atau opaque menggunakan PEG1000 (berat molekul 1000). Lapisan tipis transparan bersifat datar, porus dan kekristalan yang cukup. Perbedaan antara kedua tipe tersebut muncul dikarenakan ukuran polimernya. Pada penelitian-penelitian sebelumnya, peneliti belum dapat menjelaskan alasan mengapa luas permukaan spesifik lapisan tipis transparan serupa dengan luas lapisan tipis buram (opaque) kecuali perbedaan-perbedaan yang nyata dalam struktur permukaannya.

Perbedaan yang cukup signifikan antara TiO₂-PEG600 and TiO₂-PEG1000 adalah dalam kepadatan ukuran partikel (ukuran nanometer) TiO₂. Telah diketahui bahwa perbedaan karakteristik ini dikaitkan dengan ukuran polimer. Dalam hal ini, TiO₂-PEG600, ukuran partikel nonometernya ditemukan selama proses pemisahan/penarikan. Situasi ini dapat dilihat dimana partikel PEG600 akan mengapung dalam larutan substrat selama proses pemisahan. PEG600 dipisahkan dengan cara pemanasan dan kemudian lapisan porus akan terbentuk. Begitu pula dengan partikel TiO₂ yang terbentuk dalam sistem PEG1000.

Pengetahuan tentang mikrostruktur fotokatalis lapisan tipis sangat penting untuk mengarahkan penelitian-penelitian selanjutnya yang bertujuan untuk meningkatkan kemampuan fotokatalis dari suatu material.

2.4 Kemampuan Lapisan Tipis Fotokatalis

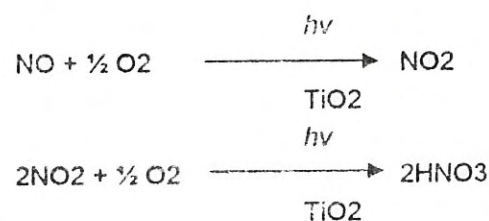
Nitrogen Oksida (NO_x, NO + NO₂) yang diemisikan dari kendaraan dan fasilitas-fasilitas pembakaran adalah polutan udara yang berbahaya. Konsentrasi NO_x yang tinggi sering diobservasi di sepanjang jalan dan oleh karena itu, teknik untuk menurunkan polutan tersebut di atmosfer sangat diperlukan. Salah satu teknologi yang telah dikembangkan adalah dengan memanfaatkan senyawa TiO₂ yang secara aktif dapat mereduksi polutan NO_x di udara ambien.

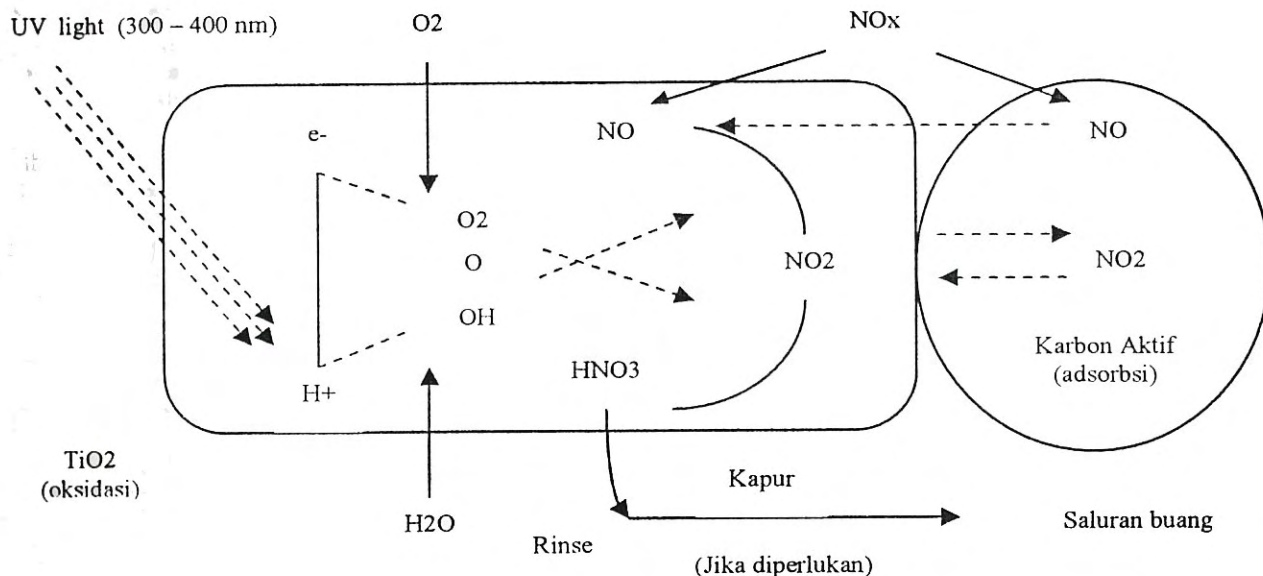
TiO₂ telah banyak dikenal sebagai fotokatalis dan zat kimia berwarna putih dan berbentuk powder yang berbahaya. Fotokatalis TiO₂ bereaksi dengan adanya irradiasi sinar UV di atmosfer pada panjang gelombang sekitar 360 nm. Tujuan utama pemanfaatan fotokatalis TiO₂ adalah untuk mengeliminasi NO_x di udara terbuka dalam kondisi intensitas sinar matahari yang cukup. Kendatipun demikian, dalam mengeliminasi NO_x, TiO₂ menghadapi satu masalah yaitu: desorpsi NO₂ dari permukaan fotokatalis TiO₂. Desorpsi NO₂ dari permukaan fotokatalis TiO₂ diamati selama proses oksidasi NO₂, dan proses ini sangat mengejutkan karena NO₂ itu sendiri merupakan polutan.

Penggunaan Karbon aktif dalam campuran fotokatalis TiO₂ telah dilaporkan oleh Ibusuki dan Uchida. Polutan-polutan akan diserap oleh Karbon Aktif dan kemudian dioksidasi oleh fotokatalis menjadi HNO₃. Meskipun demikian, perkembangan material fotokatalis aktif yang mengandung karbon sangat sulit. Penelitian selanjutnya dilakukan dengan mendesain permukaan lapisan tipis Fotokatalis, dimana dengan memodifikasi luas permukaan, penyerapan NO₂ dapat terjadi. Diharapkan bahwa lapisan tipis fotokatalis memiliki banyak mikrospora, dan mereka bertindak sebagai katalis yang baik dalam mengeliminasi NO_x.

Perubahan konsentrasi NO dan NO₂ oleh fotokatalis lapisan tipis juga dipengaruhi oleh ketebalan lapisan. Dari hasil penelitian yang dilakukan oleh N. Negishi, disebutkan bahwa ketebalan lapisan tipis fotokatalis mempengaruhi kemampuan untuk mereduksi polutan NO dan NO₂. Percobaan ketebalan dilakukan dengan beberapa variasi seperti 1, 05 dan 0.25 um. Dari hasil penelitian tersebut diperoleh hasil bahwa fotokatalis dengan tebal 1 um mampu mengeliminasi polutan NO dan NO₂ lebih terbesar dibandingkan dengan ketebalan 0.5 dan 0.25 um.

Mekanisme reaksi yang terjadi dalam proses eliminasi tersebut dapat dilihat pada persamaan reaksi dan gambar 1 berikut ini.





Gambar 1
MEKANISME PELEASAN NO_x OLEH TEKNOLOGI PHOTOKATALIS

III. METODOLOGI PENELITIAN

3.1 Hipotesis

Beberapa hipotesis yang diambil dalam menjawab permasalahan yang timbul dalam penelitian ini adalah sebagai berikut :

1. Tingkat reduksi TiO₂ dalam cat besi dan cat tembok sama
2. Penambahan TiO₂ kedalam Cat (cat besi dan cat tembok) dapat mereduksi polutan NO_x

3.2 Lingkup Kegiatan

3.2.1 Persiapan

a. Bahan Kimia

Bahan-bahan kimia yang diperlukan adalah:

- TiO₂
- Tinner
- Aquades

b. Peralatan

Peralatan yang digunakan dalam penelitian ini antara lain :

- Midget Impigner
- Spektrofotometer UV 260
- Termometer
- Generator
- Flow meter
- Pompa Isap

c. Benda Uji

Persiapan benda uji (cat + TiO₂) dilakukan dalam beberapa tahap, yaitu :

1. Siapkan plat seng dengan ukuran 10 x 20 cm
2. Pembuatan campuran Cat + TiO₂ dengan variasi sebagai berikut: 0% TiO₂, 4% TiO₂, 8% TiO₂, 12% TiO₂, 16% TiO₂, dan 20% TiO₂

3. Masing-masing campuran dikuaskan pada permukaan plat seng dan kemudian keringkan.

d. Laboratorium (BOX kaca)

Sebelum melakukan pengukuran, beberapa hal yang harus diperhatikan dalam penelitian ini, yaitu:

1. Box kaca tidak bocor dan bersih selama penggunaan
2. Masing-masing box kaca mendapatkan perlakuan yang sama baik itu jenis polutan, konsentrasi polutan, waktu penghembusan, interval penghembusan dan laju aliran udara.
3. Box kaca berada pada ruang terbuka dan langsung terkena sinar matahari.

3.2.2 Teknik Pengumpulan data

Pengumpulan data dilakukan dengan cara pengukuran di laboratorium.

Variabel-variabel yang diukur adalah sebagai berikut:

- Konsentrasi NO_x, ppm
- Temperatur udara, °C

3.2.3 Teknik Pengukuran

Teknik pengukuran yang dilakukan untuk semua variabel tersebut adalah sebagai berikut :

1. Temperatur udara

Pengukuran temperatur udara dilakukan dengan menggunakan termometer yang diletakan di dalam masing-masing box kaca. Pembacaan dilakukan sesuai dengan lamanya pengukuran NO_x.

2. Konsentrasi NO_x

Pengukuran NO_x untuk masing-masing variasi (cat + TiO₂) dilakukan secara simultan dengan menggunakan alat Midget Impigner dan Spektrophotometer. Selama pengukuran, benda uji selalu dibandingkan terhadap kontrol (cat +

tanpa TiO₂). Rata-rata konsentrasi kontrol untuk NO_x adalah sebesar 0.1 ppm.

Pengukuran dilakukan dengan agregat waktu 20 menitan selama 8 jam, mulai jam 8.00 s/d 16.00.

3.2.4 Rancangan Analisis

Model statistik yang digunakan untuk menggambarkan adanya suatu hubungan antara Tingkat reduksi NO_x dengan Penambahan TiO₂ pada Cat adalah statistik deskriptif dan uji signifikansi (t-test).

3.2.5 Lokasi Penelitian

Penelitian ini dilakukan di Laboratorium Balai teknik Lalu Lintas dan Lingkungan Jalan, Pusat Penelitian dan Pengembangan Prasarana Transportasi, Bandung

IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Komposisi Kimia Cat

TiO₂ merupakan salah satu bahan dasar pigmen putih yang umum digunakan dalam cat, maka komposisi kimia masing-masing cat yang digunakan perlu diketahui sebelumnya. Lebih jauh lagi komposisi awal ini perlu diketahui dalam upaya mengetahui kinerja cat awal yang berfungsi sebagai kontrol dalam mereduksi No_x.

Komposisi kimia masing-masing cat tersebut diuraikan pada tabel 4.1 di bawah ini.

Tabel 4.1:
KOMPOSISI KIMIA CAT

No.	Parameter	Hasil (%)		
		Cat Besi Tipe A	Cat Besi Tipe B	Cat Tembok
1.	Padatan Total:	38.82	51.83	53.81
	1.1. Kadar Binder	32.57	41.82	13.26
	1.2. Kadar Pigmen:	6.25	10.01	40.55
	- Kadar TiO ₂	5.56	5.52	4.74
2.	Kadar Solven	61.18	48.17	46.19

4.2 Cat Tembok

4.2.1 Konsentrasi NO_x

Pengamatan penurunan konsentrasi NO_x oleh TiO₂ + cat tembok dilakukan dengan cara membandingkan masing-masing variasi penambahan TiO₂ ke dalam cat tembok terhadap kontrol yaitu box kaca kosong tanpa plat uji. Variasi penambahan TiO₂ terhadap cat tembok tersebut antara lain: 0%, 4%, 8%, 12%, 16% dan 20%.

Rata-rata penurunan konsentrasi No_x untuk masing-masing variasi tersebut disajikan dalam tabel-tabel berikut ini.

Tabel 4.2
PENGAMATAN PENURUNAN KONSENTRASI NO_x OLEH CAMPURAN CAT TEMBOK + 0% DAN 8% TiO₂.

	Konsentrasi NO _x			Pengurangan Konsentrasi NO _x Oleh			
	Cat Tembok			Cat Tembok			
	Kontrol Ppm	+ 0% TiO ₂ ppm	+ 8% TiO ₂ ppm	+ 0% TiO ₂		+ 8% TiO ₂	
			ppm	%	ppm	%	
Rata-rata	0,105	0,068	0,061	0,037	35	0,044	42
St. Deviasi	0,012	0,008	0,007	0,010	7	0,009	5
T-Test	0,104	-	-	-	0,000	-	0,000
Varians	0,0001	0,0001	0,0000	0,0001	46	0,0001	27

Tabel 4.3
PENGAMATAN PENURUNAN KONSENTRASI NO_x OLEH CAMPURAN CAT TEMBOK + 4% DAN 20% TiO₂.

	Konsentrasi NO _x			Pengurangan Konsentrasi NO _x Oleh			
	Cat Tembok			Cat Tembok			
	Kontrol Ppm	+ 4% TiO ₂ ppm	+ 20% TiO ₂ ppm	+ 4% TiO ₂		+ 20% TiO ₂	
			ppm	%	ppm	%	
Rata-rata	0,103	0,065	0,045	0,038	36	0,058	56
Std. Deviasi	0,011	0,004	0,004	0,009	6	0,012	7
T-Test	0,301	-	-	-	0,000	-	0,000
Varians	0,0001	0,0000	0,0000	0,0001	40	0,0001	43

Dari tabel 4.2, secara parsial terlihat bahwa rata-rata penurunan konsentrasi polutan Nox untuk 0% (0,037 ppm atau 35%) dan 8% (0,044 ppm atau 42%) berbeda nyata, hal ini ditunjukkan dengan nilai signifikansi 2 ekor t-test untuk campuran tersebut di bawah 0,05 yaitu 0,000 dimana penambahan 8% TiO2 ke dalam cat tembok memperlihatkan reduksi yang relatif besar bila dibandingkan dengan penambahan 4% TiO2 terhadap cat yang sama.

Dari tabel 4.3, secara parsial terlihat bahwa rata-rata penurunan konsentrasi polutan NOx untuk 4% (0,038 ppm atau 36%) dan 20% (0,058 ppm atau 56%) berbeda nyata, hal ini ditunjukkan dengan nilai signifikansi 2 ekor t-test untuk campuran tersebut di bawah 0,05 yaitu 0,000 di mana reduksi yang besar di tunjukkan oleh cat tembok yang ditambah dengan 20% TiO2.

Dari tabel 4.4, secara parsial terlihat bahwa rata-rata penurunan konsentrasi polutan Nox untuk 12% (0,065 ppm atau 59%) dan 16% (0,067 ppm atau 61%) tidak berbeda nyata, hal ini ditunjukkan dengan nilai signifikansi 2 ekor t-test untuk campuran tersebut di bawah 0,05 yaitu 0,178. Hal ini terjadi dimungkinkan campuran sudah mendekati kejenuhan sehingga penambahan TiO2 tidak signifikan dengan kenaikan reduksi NOx.

4.2.2 Uji Hipotesis Cat Tembok

A. Uji T Sampel Berpasangan (CatTembok+TiO2)
Untuk mengetahui apakah semua perlakuan (0%, 4%, 8%, 12%, 16% dan 20%) mempunyai nilai rata-rata reduksi NOx yang sama maka dapat dilakukan dengan uji Uji T sampel berpasangan (Paired-Sample T-Test). Hasil yang diperoleh dapat dilihat pada tabel 4.5 di bawah ini.

Dari uji Paired-sampel T-Test di atas terlihat bahwa secara umum menunjukkan bahwa rata-rata % penurunan NOx berbeda nyata untuk setiap perlakuan kecuali untuk pasangan 0% - 4%, 12%-16%, 12%-20% dan 16%-20%. Untuk CA0-CA4 nilai signifikan t-testnya 0,443 di atas 0,05 artinya bahwa penambahan 4% TiO2 kedalam cat tembok tidak berpengaruh besar terhadap reduksi yang terjadi. Begitu pula untuk pasangan CA12 s/d CA20, diasumsikan bahwa campuran telah mencapai jenuh sehingga penambahan TiO2 selanjutnya tidak berpengaruh besar terhadap reduksi NOx. Namun demikian, untuk membuktikan asumsi tersebut perlu dilakukan penelitian lebih lanjut

Tabel 4.4
PENGAMATAN PENURUNAN KONSENTRASI NOX OLEH CAMPURAN CAT TEMBOK + 12% DAN 16% TiO2.

	Konsentrasi NOx			Pengurangan Konsentrasi NOx Oleh				
	Cat Tembok			Cat Tembok				
	Kontrol Ppm	+12% TiO2 ppm	+16% TiO2 ppm	+12% TiO2		+ 16% TiO2		
			ppm	%	Ppm	%		
Rata-rata	0,109	0,044	0,042	0,065	59	0,067	61	
Std. Deviasi	0,010	0,007	0,006	0,013	8	0,013	7	
T-Test	0,001	-	-	-	0,178	-	0,178	
Varians	0,0001	0,0000	0,0000	0,0002	59	0,0002	51	

Tabel 4.5
PAIRED -SAMPLE T-TEST PENAMBAHAN TiO2 TERHADAP CAT TEMBOK

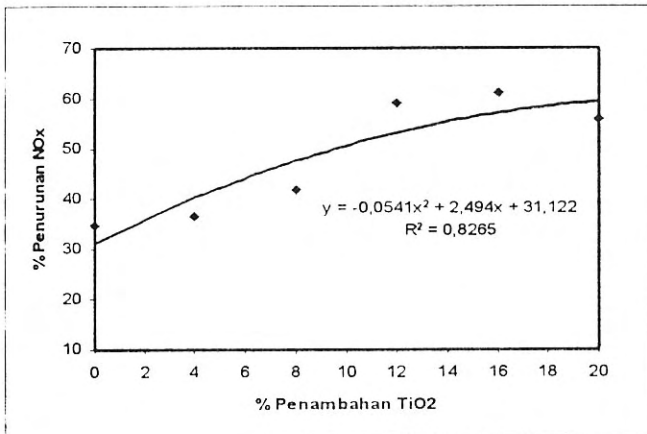
Pasangan	T	Df	Sig. (2-tailed)	
Pair 1	CA0 - CA4	-0,788	15	0,443
Pair 2	CA0 - CA8	-6,599	15	0,000
Pair 3	CA0 - CA12	-8,314	15	0,000
Pair 4	CA0 - CA16	-9,622	15	0,000
Pair 5	CA0 - CA20	-7,425	15	0,000
Pair 6	CA4 - CA8	-2,584	15	0,021
Pair 7	CA4 - CA12	-7,483	15	0,000
Pair 8	CA4 - CA16	-8,995	15	0,000
Pair 9	CA4 - CA20	-14,144	15	0,000
Pair 10	CA8 - CA12	-7,300	15	0,000
Pair 11	CA8 - CA16	-8,832	15	0,000
Pair 12	CA8 - CA20	-5,927	15	0,000
Pair 13	CA12 - CA16	-1,412	15	0,178
Pair 14	CA12 - CA20	1,249	15	0,231
Pair 15	CA16 - CA20	2,130	15	0,050

B. Uji Korelasi dan Nilai Optimum % Penambahan TiO2 Pada Cat Tembok

Secara keseluruhan korelasi antara tingkat reduksi Nox dengan penambahan TiO2 dalam Cat Tembok dapat dilihat pada tabel 4.6 dan Gambar 2 Berikut ini.

Tabel 4.6
KORELASI PENURUNAN POLUTAN NOX OLEH TIO2 + CAT TEMBOK

Variasi Penambahan TiO2	Konsentrasi Nox		Reduksi	
	Tanpa Cat Tembok (ppm)	Ada Cat Tembok (ppm)	(ppm)	(%)
0	0,105	0,068	0,037	35
4	0,103	0,065	0,038	36
8	0,105	0,061	0,044	42
12	0,109	0,044	0,065	59
16	0,109	0,042	0,067	61
20	0,108	0,045	0,058	56
R2				0.8265



Gambar 2
TRENDLINE REDUKSI NOX OLEH TIO2 DALAM CAT TEMBOK

Dari Tabel 4.6 dan Gambar 2, terlihat bahwa penambahan TiO2 kedalam Cat Tembok berpengaruh terhadap kemampuan mereduksinya. Adanya

hubungan positif antara penambahan TiO2 terhadap Reduksi NOx ditunjukkan dengan nilai korelasi yang cukup baik yaitu 0,8265.

Berdasarkan atas persamaan yang diperoleh, penambahan % TiO2 optimum terhadap cat tembok dapat diketahui dengan cara menurunkan persamaan tersebut seperti yang diuraikan berikut ini.

$$\frac{dY}{dX} = 0$$

Dimana

$$Y = -0,0541 x^2 + 2,494x + 31,122$$

$$\frac{d(-0,0541 x^2 + 2,494x + 31,122)}{dX} = 0$$

$$-0,1082x + 2,494 = 0$$

$$x = \frac{2,4940}{0,1082}$$

$$x = 23,05 \approx 23\%$$

dengan mensubstitusikan nilai x kedalam persamaan, maka nilai optimum % penurunan NOx dapat dihitung sebagai berikut :

$$Y = -0,0606 (23)^2 + 2,5318(23) + 29,109$$

$$Y = 59,87\% \text{ penurunan NOx}$$

Dapat disimpulkan bahwa dengan penambahan 23% TiO2 kedalam cat tembok dapat menurunkan konsentrasi NOx optimum sebesar 59,87 %.

4.3 Cat Besi

4.3.1 Konsentrasi NOx

Seperti halnya pengamatan terhadap cat tembok + % TiO2, untuk cat besi pun dilakukan pengamatan yang sama. Variasi penambahan TiO2 terhadap cat besi adalah 0%, 4%, 8%, 12%, 16% dan 20%.

Rata-rata penurunan konsentrasi Nox untuk masing-masing variasi tersebut disajikan dalam tabel-tabel berikut ini.

Tabel 4.7
PENGAMATAN PENURUNAN KONSENTRASI NOX OLEH CAMPURAN CAT BESI + 0% TIO2 (TANPA PENAMBAHAN TIO2)

No. Sampel	Konsentrasi Nox			Reduksi Nox			
	Kontrol (ppm)	CB-A (ppm)	CB-B (ppm)	CB-A (ppm)	CB-A (%)	CB-B (ppm)	CB-B (%)
Rata - rata	0,097	0,059	0,060	0,038	39	0,037	38
Std. Deviasi	0,007	0,006	0,006	0,008	7	0,005	4
T Test	0,098	-	-	-	0,757	-	0,757
Varian	0,0001	0,0000	0,0000	0,0001	47	0,0000	17

Tabel 4.8:
PENGAMATAN PENURUNAN KONSENTRASI NOX OLEH CAMPURAN CAT BESI + 4% TiO₂
(TANPA PENAMBAHAN TiO₂)

No. Sampel	Konsentrasi Nox			Reduksi Nox			
	Kontrol (ppm)	CB-A (ppm)	CB-B (ppm)	CB-A (ppm)	CB-A (%)	CB-B (ppm)	CB-B (%)
Rata – rata	0,102	0,064	0,064	0,038	37	0,038	37
Std. Deviasi	0,009	0,008	0,005	0,008	7	0,006	4
T Test	0,351	-	-	-	0,984	-	0,984
Varian	0,0001	0,0001	0,0000	0,0001	46	0,0000	13

Keterangan:

CB-A: Cat Besi Jenis A

CB-B: Cat Besi Jenis B

Tabel 4.9:
PENGAMATAN PENURUNAN KONSENTRASI NOX OLEH CAMPURAN CAT BESI + 8% TiO₂
(TANPA PENAMBAHAN TiO₂)

No. Sampel	Konsentrasi Nox			Reduksi Nox			
	Kontrol (ppm)	CB-A (ppm)	CB-B (ppm)	CB-A (ppm)	CB-A (%)	CB-B (ppm)	CB-B (%)
Rata – rata	0,097	0,059	0,061	0,039	39	0,036	37
Std. Deviasi	0,007	0,005	0,005	0,010	8	0,005	4
T Test	0,140	-	-	-	0,316	-	0,316
Varian	0,0000	0,0000	0,0000	0,0001	67	0,0000	19

Keterangan:

CB-A: Cat Besi Jenis A

CB-B: Cat Besi Jenis B

Tabel 4.10:
PENGAMATAN PENURUNAN KONSENTRASI NOX OLEH CAMPURAN CAT BESI + 12% TiO₂
(TANPA PENAMBAHAN TiO₂)

No. Sampel	Konsentrasi Nox			Reduksi Nox			
	Kontrol (ppm)	CB-A (ppm)	CB-B (ppm)	CB-A (ppm)	CB-A (%)	CB-B (ppm)	CB-B (%)
Rata – rata	0,094	0,058	0,059	0,036	38	0,035	37
Std. Deviasi	0,012	0,007	0,011	0,014	11	0,008	7
T Test	0,082	-	-	-	0,985	-	0,985
Varian	0,0002	0,0000	0,0001	0,0002	129	0,0001	47

Keterangan:

CB-A: Cat Besi Jenis A

CB-B: Cat Besi Jenis B

Dari tabel 4.7, terlihat bahwa rata-rata penurunan konsentrasi polutan NO_x untuk 0% TiO₂ + CB-A dan 0% TiO₂ + CB-B, masing-masing sebesar 0,038 ppm atau 39% dan 0,037 ppm atau 38% tidak berbeda nyata. Hal ini ditunjukkan dengan nilai signifikansi 2 ekor t-test untuk campuran tersebut di atas 0,05 yaitu 0,757, artinya meskipun kemampuan Cat Besi A asli (tanpa penambahan TiO₂) dalam mereduksi NO_x lebih besar 1% dari Cat Besi B asli (tanpa penambahan TiO₂), secara statistik ternyata dianggap sama satu sama lain.

Dari tabel 4.8, terlihat bahwa rata-rata penurunan konsentrasi polutan NO_x untuk 4% TiO₂ + CB-A dan CB-B yang masing-masing sebesar 0,038 ppm atau 37% dan 0,038 ppm atau 37% tidak berbeda nyata satu sama lain, hal ini ditunjukkan dengan nilai signifikansi 2 ekor t-test untuk campuran tersebut di atas 0,05 yaitu 0,984. Ini berarti bahwa penambahan 4% TiO₂ terhadap cat besi jenis A maupun cat besi jenis B tidak menunjukkan hasil reduksi yang berbeda.

Dari tabel 4.9, terlihat bahwa rata-rata penurunan konsentrasi polutan NO_x untuk 8% TiO₂ + CB-A dan 8% TiO₂ + CB-B

masing-masing sebesar 0,039 ppm atau 39% dan 0,036 ppm atau 37% tidak berbeda nyata satu sama lain, hal ini ditunjukkan dengan nilai signifikansi 2 ekor t-test untuk campuran tersebut di atas 0,05 yaitu 0,316. Ini berarti bahwa penambahan 8% TiO₂ terhadap cat besi jenis A atau jenis B menunjukkan hasil reduksi yang sama.

Dari tabel 4.10, terlihat bahwa rata-rata penurunan konsentrasi polutan NO_x untuk 12% TiO₂ + CB-A dan 12% TiO₂ + CB-B masing-masing sebesar 0,036 ppm atau 38% dan 0,035 ppm atau 37% tidak berbeda nyata satu sama lain, hal ini ditunjukkan dengan nilai signifikansi 2 ekor t-test untuk campuran tersebut di atas 0,05 yaitu 0,985. Ini berarti bahwa penambahan 12% TiO₂ terhadap cat besi jenis A atau B menunjukkan hasil reduksi yang sama kendatipun cat besi jenis A (CB-A) reduksinya relatif lebih besar 1%.

Dari kehomogenan data, hasil yang diperoleh untuk masing-masing cat besi adalah relatif homogen ditunjukkan dengan nilai varian yang mendekati 0 yaitu 0,0001 dan 0,0002.

Tabel 4.11:
PENGAMATAN PENURUNAN KONSENTRASI NOX OLEH CAMPURAN CAT BESI + 16% TiO2
(TANPA PENAMBAHAN TiO2)

No. Sampel	Konsentrasi Nox			Reduksi Nox			
	Kontrol (ppm)	CB-A (ppm)	CB-B (ppm)	CB-A (ppm)	CB-A (%)	CB-B (ppm)	CB-B (%)
Rata – rata	0,103	0,062	0,063	0,042	40	0,041	39
Std. Deviasi	0,009	0,005	0,007	0,007	4	0,007	5
T Test	0,161	-	-	-	0,658	-	0,658
Varian	0,0001	0,0000	0,0001	0,0000	18	0,0000	27

Keterangan:

CB-A: Cat Besi Jenis A

CB-B: Cat Besi Jenis B

Tabel 4.12:
PENGAMATAN PENURUNAN KONSENTRASI NOX OLEH CAMPURAN CAT BESI + 20% TiO2
(TANPA PENAMBAHAN TiO2)

No. Sampel	Konsentrasi Nox			Reduksi Nox			
	Kontrol (ppm)	CB-A (ppm)	CB-B (ppm)	CB-A (ppm)	CB-A (%)	CB-B (ppm)	CB-B (%)
Rata – rata	0,095	0,059	0,060	0,037	38	0,035	37
Std. Deviasi	0,011	0,007	0,007	0,014	11	0,007	5
T Test	0,105	-	-	-	0,785	-	0,785
Varian	0,0001	0,0001	0,0000	0,0002	129	0,0000	21

Keterangan:

CB-A: Cat Besi Jenis A

CB-B: Cat Besi Jenis B

Dari tabel 4.11, terlihat bahwa rata-rata penurunan konsentrasi polutan NOx untuk 16% TiO2 + CB-A dan 16% TiO2 + CB-B adalah masing-masing sebesar 0,042 ppm atau 40% dan 0,041 ppm atau 39% tidak berbeda nyata satu sama lain, hal ini ditunjukkan dengan nilai signifikansi 2 ekor t-test untuk campuran tersebut di atas 0,05 yaitu 0,658. Ini berarti bahwa penambahan 16% TiO2 terhadap cat besi jenis A atau B menunjukkan hasil reduksi yang sama meskipun reduksi yang lebih besar ditunjukkan oleh cat besi jenis A (CB-A).

Dari tabel 4.12, terlihat bahwa rata-rata penurunan konsentrasi polutan NOx untuk 20% TiO2 + CB-A dan 20% TiO2b+CB-B masing-masing sebesar 0,037 ppm atau 38% dan 0,035 ppm atau 37% tidak berbeda nyata satu sama lain, hal ini ditunjukkan dengan nilai signifikansi 2 ekor t-test untuk campuran tersebut di atas 0,05 yaitu 0,785. Ini berarti bahwa penambahan 20% TiO2 terhadap cat besi jenis A atau B menunjukkan hasil reduksi yang sama walaupun cat besi jenis A (CB-A) menunjukkan reduksi yang lebih besar.

4.3.2 Uji Hipotesis Cat Besi

Uji T Sampel Berpasangan (Cat Besi + TiO2)

Untuk mengetahui apakah semua perlakuan (0%, 4%, 8%, 12%, 16% dan 20%) mempunyai nilai rata-rata reduksi NOx yang sama di dalam grupnya, maka dapat dilakukan dengan uji Uji T sampel berpasangan (Paired-Sample T-Test). Hasil yang diperoleh dapat dilihat pada tabel-tabel di bawah ini.

Dari Uji Paired-sampel T-Test di atas terlihat bahwa secara keseluruhan menunjukkan bahwa rata-rata % penurunan NOx tidak berbeda nyata untuk setiap perlakuan terlihat dengan nilai signifikan 2 ekor t-testnya di atas 0,05. Hasil tersebut membuktikan bahwa penambahan TiO2 0% s/d 20% terhadap cat besi jenis A tidak menyebabkan tingkat reduksi menjadi meningkat. Hal ini diduga karena cat besi memiliki daya tutup dan resin yang relatif lebih baik dari cat tembok sehingga akan menutupi/mengalangi kontak antara TiO2 dengan udara luar. Adapun reduksi yang terjadi, diduga disebabkan oleh absorpsi material/bahan cat yang terkandung didalamnya. Untuk mendukung dan membuktikan dugaan tersebut perlu dilakukan penelitian lebih lanjut.

Seperti halnya cat besi jenis A, cat besi jenis B pun menunjukkan pola yang sama dimana dari hasil Uji Paired-sampel T-Test-nya secara keseluruhan, nilai signifikan 2 ekor t-testnya di atas 0,05. Hal ini mengindikasikan bahwa penambahan TiO2 0% s/d 20% tidak berpengaruh terhadap tingkat reduksi NOX, diduga karena cat besi memiliki daya tutup dan resin yang relatif lebih baik dari cat tembok sehingga akan menutupi/mengalangi kontak antara TiO2 dengan udara luar. Adapun reduksi yang terjadi, diduga disebabkan oleh absorpsi material/bahan cat yang terkandung didalamnya. Untuk mendukung dan membuktikan dugaan tersebut perlu dilakukan penelitian lebih lanjut.

Tabel 4.13:
PAIRED -SAMPLE T-TEST PENAMBAHAN TIO2 UNTUK CAT BESI A

Pasangan		T	Df	Sig. (2-tailed)
Pair 1	CBA0 - CBA4	0,785	15	0,445
Pair 2	CBA0 - CBA8	-0,215	15	0,832
Pair 3	CBA0 - CBA12	0,349	15	0,732
Pair 4	CBA0 - CBA16	-0,587	15	0,566
Pair 5	CBB0 - CBA20	-1,370	15	0,893
Pair 6	CBA4 - CBA8	-0,914	15	0,375
Pair 7	CBA4 - CBA12	-0,111	15	0,913
Pair 8	CBA4 - CBA16	-1,679	15	0,114
Pair 9	CBA4 - CBA20	-0,137	15	0,893
Pair 10	CBA8 - CBA12	-0,458	15	0,653
Pair 11	CBA8 - CBA16	-0,412	15	0,686
Pair 12	CBA8 - CBA20	0,452	15	0,658
Pair 13	CBA12 - CBA16	-0,894	15	0,385
Pair 14	CBA12 - CBA20	-0,035	15	0,973
Pair 15	CBA16 - CBA20	0,570	15	0,461

Tabel 4.14:
PAIRED -SAMPLE T-TEST PENAMBAHAN TIO2 UNTUK CAT BESI B

Pasangan		T	Df	Sig. (2-tailed)
Pair 1	CBB0 - CBB4	0,877	15	0,395
Pair 2	CBB0 - CBB8	0,773	15	0,541
Pair 3	CBB0 - CBB12	0,358	15	0,725
Pair 4	CBB0 - CBB16	-0,660	15	0,519
Pair 5	CBB0 - CBB20	1,837	15	0,417
Pair 6	CBB4 - CBB8	-0,047	15	0,963
Pair 7	CBB4 - CBB12	-0,243	15	0,812
Pair 8	CBB4 - CBB16	-1,491	15	0,157
Pair 9	CBB4 - CBB20	0,120	15	0,906
Pair 10	CBB8 - CBB12	-0,130	15	0,898
Pair 11	CBB8 - CBB16	-1,255	15	0,220
Pair 12	CBB8 - CBB20	0,171	15	0,867
Pair 13	CBB12 - CBB16	-0,889	15	0,388
Pair 14	CBB12 - CBB20	0,243	15	0,811
Pair 15	CBB16 - CBB20	1,830	15	0,087

C. KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

- Dari uji Paired-Sampel T-Test cat tembok secara umum menunjukkan rata-rata % penurunan NOx berbeda nyata.
- Adanya hubungan positif antara penambahan TiO2 ke dalam cat tembok vs tingkat reduksi Nox ditunjukkan dengan nilai $R^2 = 0,8265$
- Penambahan 23% TiO2 ke dalam cat tembok, mampu mereduksi NOx optimum sebesar 59,87%

- Penambahan TiO2 0% s/d 20% terhadap cat besi jenis A atau B tidak berpengaruh terhadap tingkat reduksi Nox dibuktikan dengan uji paired-sampel t-test secara keseluruhan nilai signifikansi 2 ekor t-testnya di atas 0,05
- TiO2 dalam Cat tembok mampu mereduksi Nox mereduksi NOX lebih baik dibandingkan cat besi

5.2 Saran

- Untuk mengetahui kinerja Cat Tembok + TiO2, perlu dilakukan uji lapangan dengan mempertim-

bangkan : jarak peletakkan panel, jumlah panel dan disain panel yang murah, aman dan ramah lingkungan

- Untuk mendukung dan membuktikan bahwa reduksi yang terjadi pada cat besi disebabkan oleh adanya zat atau bahan kimia lain selain TiO₂ maka perlu penelitian lebih lanjut

DAFTAR PUSTAKA

1. Motor Vehicle Pollutant, Reduction Strategies Beyond 2010, Organization for Economic Cooperation and Development, Paris.
2. Widyapura, Masalah Penecemaran Udara, Pusat Penelitian dan Pengembangan Perkotaan dan Lingkungan (P4L), Oktober 1988, Jakarta.

3. Fachrudin M. Mangunjaya, 1992. Polusi Udara Ancaman Kesehatan bagi Manusia. Buletin Amerta No. 2/vol.7 Juli – September 1992.
4. Pusat Litbang Jalan (1999), laporan Penelitian Teknologi Pereduksi Polusi Udara dengan Menggunakan Photokatalis Semi Konduktor, 2000.

Penulis :

- *Ir. Nanny Kusminingrum, Ahli Peneliti Muda Bidang Lingkungan Jalan, Puslitbang Prasarana Transportasi*
- *Asep Sunandar, Staf Balai Teknik Lalu Lintas dan Lingkungan Jalan, Puslitbang Prasarana Transportasi.*