

PEMANFAATAN TITANIUM DIOXIDE PADA TROTOAR UNTUK MENGURANGI GAS PENCEMAR NO_x DI UDARA

Hafizhul Khair AM¹, Kania Dewi² dan Moh. Irsyad³

¹Program Studi Teknik Lingkungan, Universitas Sumatera Utara

^{2,3}Program Studi Magister Teknik Lingkungan, Institut Teknologi Bandung

Email: hafizhul@gmail.com

ABSTRAK

Sektor transportasi merupakan salah satu penyumbang pencemaran udara terbesar di Indonesia, terutama di kota-kota besar. Gas-gas hasil pembakaran bahan bakar kendaraan bermotor seperti oksida nitrogen (NO_x) akan diemisikan ke udara ambien. Meningkatnya konsentrasi NO_x di udara ambien dapat berdampak buruk bagi kesehatan manusia terutama berkaitan dengan penyakit saluran pernafasan bagian atas. Karena itu, pengembangan metode-metode yang ramah lingkungan untuk mengendalikan pencemaran udara harus dilakukan. Salah satu cara sederhana menurunkan pencemaran udara adalah memanfaatkan proses yang murah, yaitu sinar matahari dan efek katalis dari TiO₂, untuk mengendalikan NO dan NO₂. Metode ini tidak memerlukan energi tambahan selain sinar ultraviolet yang berasal dari matahari. Paving block berlapis TiO₂ dipaparkan di udara ambien dalam waktu 6 jam, 12 jam, 18 jam dan 24 jam. Ion nitrat dan nitrit yang terbentuk akibat proses fotokatalitik di permukaan paving dilarutkan dengan aquades yang kemudian diukur dengan ion chromatografi. Hasil percobaan menunjukkan bahwa dengan tambahan TiO₂ sebanyak 200 gram untuk setiap meter persegi paving mampu mengadsorpsi gas NO_x dengan laju adsorpsi rata-rata sebesar 0,0046 mg/m²/menit, peningkatan konsentrasi HNO₃⁻ seiring dengan lamanya proses pemaparan di lapangan. Biaya tambahan untuk setiap meter persegi paving block yaitu Rp. 13180.

Kata kunci: fotokatalitik, ion nitrat, ion nitrit, oksida nitrogen (NO_x), titanium dioksida (TiO₂), paving block

ABSTRACT

The transportation is one of the largest contributor to air pollution in Indonesia, especially in large cities. Fuel gases from combustion in motor vehicles, such as oxides of nitrogen (NO_x) will be emitted to the ambient air. Increasing the concentration of NO_x in ambient air can be bad for human health, especially with regard to upper respiratory tract disease. Therefore, the development of methods which are environmentally friendly for controlling air pollution remains to be done. One simple way to reduce air pollution is utilizing a cheap process, namely sunlight and effect of catalyst of TiO₂, to control the NO and NO₂. This method requires no additional energy in addition to ultraviolet rays coming from the Sun. Paving-coated TiO₂ ambient air set out in 6 hours, 12 hours, 18 hours and 24 hours. Nitrate and nitrite ions are formed by photocatalytic on the surface of the paving is dissolved with the aquades which is then measured by ion chromatography. The experimental results showed that the composition of TiO₂ 200 g/m² of paving is able to adsorp NO_x gas at an average rate of 0.0046 mg/m²/minutes, elevated concentrations of HNO₃⁻ along with the duration of exposure. Additional costs for every square meter paving is Rp. 13180.

Keywords: Photocatalytic, nitrate ion, nitric ion, nitrogen oxides (NO_x), titanium dioxide (TiO₂), paving

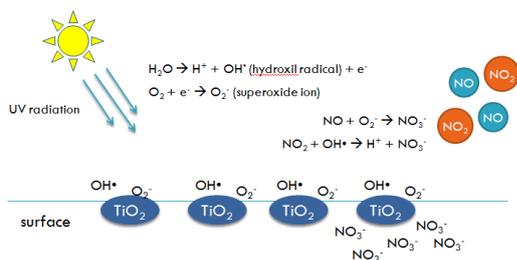
PENDAHULUAN

Penggunaan bahan bakar pada kendaraan bermotor menghasilkan emisi zat pencemar seperti oksida nitrogen (NO_x). Udara yang

tercemar dapat mengganggu kesehatan manusia, tergantung dari macam, ukuran dan komposisi kimiawinya. Gangguan tersebut terutama terjadi pada fungsi faal dari organ tubuh seperti paru-paru dan pembuluh darah, atau menyebabkan

iritasi pada mata dan kulit. Efeknya yang lebih parah lagi adalah bisa menyebabkan kanker paru-paru, keguguran, dan menyebabkan kematian dini. Selain itu reaksi fotokimia dari sinar matahari dengan NOx bisa menimbulkan polutan jangka panjang, seperti hujan asam yang berbahaya bagi bangunan (korosi) dan vegetasi. Oleh karena itu harus ada usaha untuk mengurangi pencemaran udara yang terjadi dengan pengembangan metode-metode yang ramah lingkungan.

Salah satu cara mengurangi pencemaran udara khususnya NOx bisa menggunakan reaksi fotokatalik dari TiO₂, yaitu memanfaatkan efek katalis dari TiO₂ dan sinar ultraviolet dari matahari sebagai aktivasi, reaksi fotokatalis mengendapkan polutan yang teroksidasi pada permukaan material kemudian memanfaatkan air hujan sebagai pembersihnya. Mekanisme proses fotokatalitik pada permukaan yang dilapisi TiO₂ dapat ditunjukkan pada Gambar 1.

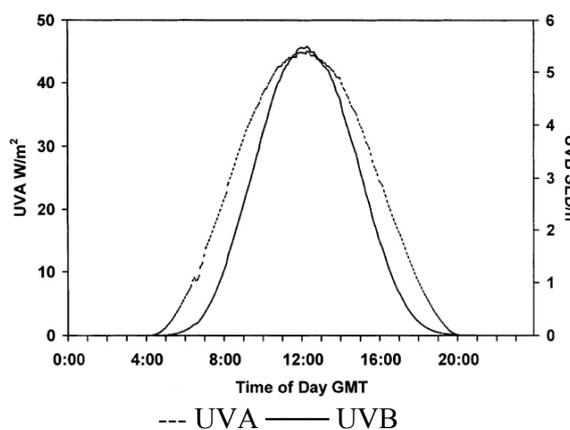


Gambar 1. Mekanisme proses fotokatalitik pada permukaan yang dilapisi titanium dioksida (McForet, 2012)

TiO₂ adalah material logam, yang hadir di alam dalam berbagai bentuk. TiO₂ memiliki tiga molekul yang berbeda struktur yaitu: rutil, anatase dan brookiet (Fujishima, dkk., 1999.). Rutile dikenal sebagai pigmen putih cat, tapi mempunyai reaktivitas fotokatalitik rendah. Anatase adalah lebih baik jika digunakan sebagai fotokatalitik. Untuk menggunakan anatase sebagai fotokatalis, diperlukan sinar ultraviolet (UV) dengan panjang gelombang lebih rendah dari 387 nm.

Sumber ultraviolet di alam berasal dari sinar matahari, spectrum radiasi UV dibagi menjadi beberapa kelompok. Radiasi UV dengan panjang gelombang 400 nm - 320 nm disebut "UV-A", panjang gelombang 320 - 290 nm

disebut "UV-B" dan panjang gelombang 280 - 100 nm disebut "UV-C". Radiasi UV pada gelombang pendek lebih kuat diserap oleh banyak jenis pencemar dan biomolekul. Intensitas UV diukur untuk melihat jumlah radiasi yang dihasilkan dari sinar matahari. Intensitas UV mencapai puncaknya pada jam 12 siang sebagaimana yang ditunjukkan pada Gambar 2 (Diffey, 2002), yaitu variasi hasil pengukuran intensitas UVA dan UVB di Inggris.



Gambar 2. Variasi Intensitas UVA dan UVB Saat Musim Panas di Inggris (Diffey, 2002)

Pada kasus TiO₂, panjang gelombang yang lebih kecil dari 400 nm diperlukan untuk iradiasi, yang sesuai dengan spektrum UV dari matahari. Intensitas yang lebih tinggi menghasilkan lebih banyak foton yang dihasilkan, sehingga tingkat oksidasi fotokatalitiknya lebih tinggi (Fujishima dkk., 2000, Zhao dan Yang 2003). Hubungan antara intensitas dibandingkan tingkat oksidasi fotokatalitik seringkali menunjukkan korelasi linear. Tingkat kenaikan tergantung pada polutan kimia. Misalnya, ketika radiasi berubah 0-1500 μW/cm² efeknya adalah linier. Oksidasi fotokatalitik TCE meningkat dari 0,08 x 10⁻⁶ menjadi 0,25 x 10⁻⁶ mol/s gram sebagai akibat intensitas cahaya yang meningkat dari 0,08 mW/cm² menjadi 0,45 mW/cm² (Zhao dan Yang 2003).

Fotokatalis ini dapat diterapkan dalam berbagai bentuk termasuk pada modul semen, dengan cara menambahkan lapisan tipis di atas permukaan modul semen tersebut. Cukup sering, jenis pelapis ini disebut sebagai "self cleaning coating", karena lapisan fotokatalitik pada bahan konstruksi bertindak untuk

mencegah dan juga mengadsorpsi debu yang cenderung menempel pada permukaan kotor (Paz, 2010).

Ketika oksidasi fotokatalitik yang terdekomposisi diserap pada di permukaan, permukaan dibersihkan dan diubah menjadi sangat hidrofilik (Hashimoto, dkk., 2005). Noda yang menempel pada permukaan hidrofilik TiO₂ dapat dibersihkan dengan mudah, karena adanya memiliki kemampuan "*self cleaning*" tersebut. Beton fotokatalitik mulai banyak digunakan pada proyek-proyek teknik arsitektur dan sipil di Eropa dan Asia sebagai bahan pembersihan diri. Beberapa manfaat konsentrat fotokatalitik adalah mampu mengurai bahan kimia yang berkontribusi sebagai penyebab kekotoran dan polusi udara, menjaga kebersihan beton, dan mampu memantulkan banyak panas matahari sehingga mengurangi panas karena warna TiO₂ yang putih (Shen, dkk., 2012).

Bahan material/bangunan yang memanfaatkan proses fotokatalitik telah banyak digunakan diberbagai lingkungan indoor dan outdoor, tujuannya yaitu untuk mengurangi konsentrasi NO_x di udara. Misalnya dalam 30 m³ ruangan, pada 30 °C dan kelembaban 50%, dan di bawah radiasi UV 2,1 W/m² cat komersial ditambah dengan TiO₂ sebanyak 3%, dicapai pengurangan konsentrasi NO_x sebesar 0,21 mg/m (Maggos, dkk., 2005). Pada kondisi yang sama cat translucent yang mengandung TiO₂ sebanyak 5 % mampu mengurangi konsentrasi NO_x sebesar 0,06 mg/m.s. Demikian pula lantai yang dilapisi dengan lapisan TiO₂ dilaporkan mampu untuk menghilangkan polutan NO_x (Toulon, dkk., 2006).

Untuk removal NO_x di luar ruangan, dalam satu studi fotokatalitik paving mampu menurunkan 15 persen oksida nitrat yang dilepaskan oleh kendaraan di jalan raya dan ini lebih efektif, selain menanam pohon di kedua sisi jalan. Pendukung lainnya dari pemanfaatan teknologi baru dimana menunjukkan bahwa kualitas udara perkotaan dapat ditingkatkan hingga 80 persen jika semua jalan, trotoar, dan permukaan eksterior bangunan dirawat dengan baik (Chusid, 2005).

Saat diuji di lingkungan luar, hujan mampu memberikan efek dalam regenerasi fotokatalitik,

mirip dengan pembilasan. Akibatnya, beberapa merekomendasikan pembilasan dilakukan setidaknya setiap dua bulan selama musim kemarau (Yu, 2002). Namun, air bilas atau hujan belum efektif dalam penempelan kontaminan ke material dan air larutan kontaminan. Akibatnya, menggunakan agen degreasing mungkin bisa bermanfaat. Solusi lain yang diusulkan dari Zhao adalah meningkatkan suhu permukaan atau air bilas untuk menghilangkan intermedit dan mengembalikan sisi aktif pada permukaan katalis (Zhao dan Yang, 2003). Meskipun masih terjadi perdebatan, satu hal di mana penelitian setuju bahwa daya tahan aktivitas katalitik harus dibuktikan untuk implantasi yang luas dan teknik regenerasi, yaitu menerapkan air bilas harus dievaluasi jika terjadi degenerasi (Berdahl dan Akbari, 2008).

Total porositas pada permukaan paving yang dilapisi TiO₂ mengalami penurunan dan pengurangan volume pori, dimana hal ini terjadi pada rentang pori kapiler. Selain itu terjadi percepatan tingkat hidrasi dan perubahan mikrostruktur yang juga mempengaruhi sifat fisik dan mekanik dari paving tersebut (Chen, dkk., 2012).

Keberhasilan komersialisasi permukaan berlapis TiO₂ dengan kemampuan self cleaning pada beton, kaca dan produk keramik. Dengan capaian yang memungkinkan produk tersebut terjaga dari segi penampilan dan estetika dari waktu ke waktu (Chen dan Poon, 2009).

METODOLOGI

Penelitian dilakukan pada skala lapangan, pembuatan dan penyiapan paving block yang siap digunakan di lapangan, kemudian diuji performanya, mengolah dan menganalisis data, data diperoleh dari hasil parameter-parameter yang diukur kemudian dianalisa dengan membuat tabulasi secara kualitatif.

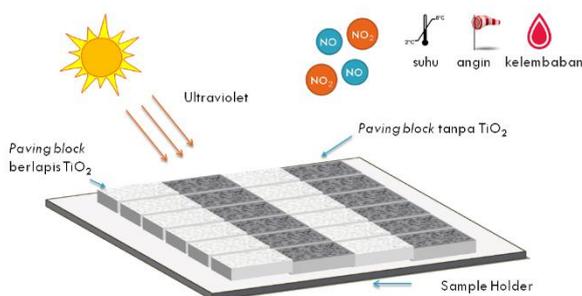
Lokasi sampling untuk pengujian lapangan fotokatalitik TiO₂ dilaksanakan di perempatan Taman Cikapayang di Jalan Ir. H. Juanda, Bandung. Lokasi ini dipilih karena berada diperempatan jalan dengan tingkat kepadatan lalu lintas yang tinggi. Untuk lebih jelasnya, lokasi sampling, skema dan percobaan di

lapangan dapat dilihat pada Gambar 3, Gambar 4 dan Gambar 5.



Gambar 3. Denah Lokasi Sampling Pengujian Fotokatalitik TiO₂ di Lapangan

Tahap awal penelitian adalah menentukan komposisi campuran optimum TiO₂ dan kemudian dilanjutkan dengan pembuatan paving berlapis TiO₂.



Gambar 4. Skema Fotokatalitik Paving Block Berlapis TiO₂ di Lapangan



Gambar 5. Pemaparan Paving Berlapis TiO₂ di Jalan Ir. H. Juanda Bandung

Penentuan Komposisi Optimum Campuran TiO₂

Pada tahap awal dilakukan percobaan untuk menentukan komposisi optimum campuran TiO₂ yang akan digunakan untuk melapis

bagian atas paving. Penentuan komposisi optimum ini berguna untuk mencari formula yang tepat untuk menempelkan TiO₂ ke permukaan paving dengan baik. Pada penelitian ini digunakan *water based resin* untuk membantu mengikatkan TiO₂ ke permukaan paving. Penentuan komposisi campuran optimum lapisan TiO₂ terhadap *water based resin* dilakukan dengan 3 tahap pengujian yaitu terdiri dari perlakuan awal (secara fisik dengan menggosokkan jari pada permukaan paving yang dilapisi TiO₂ untuk mengetahui tingkat kerekatan lapisan TiO₂ pada paving block), uji ketahanan aus dan perhitungan biaya komposisi campuran. Maka dari itu dibuatlah berbagai variasi komposisi TiO₂ yang memungkinkan dan dilakukan pengujian.

Spesifikasi Paving Block

Spesifikasi kualitas paving yang digunakan mengacu pada SNI 15-6699-2002, syarat mutu, cara pengambilan contoh, cara uji, syarat lulus uji dan syarat penandaan bata paving keramik. Dimensi paving yang digunakan adalah: panjang = 21 cm, lebar = 10.5 cm dan ketebalan = 8 cm.

Alat dan Bahan Campuran

Alat yang digunakan untuk mengaduk campuran TiO₂ adalah sebuah mixer, sedangkan bahan utama berupa bubuk TiO₂ anastase, *water based resin* dan air. Campuran TiO₂ yang telah terbentuk dikuas secara merata pada permukaan paving.

Jumlah Paving Block dan Durasi Pemaparan

Sebanyak 80 buah paving yang telah dilapisi TiO₂ digunakan dalam penelitian ini, Selain itu ditambahkan paving kontrol, paving kontrol (blank) merupakan paving tanpa dilapisi TiO₂ yang digunakan sebagai pembandingan dengan paving yang dilapisi TiO₂. Hal ini berguna untuk melihat/membuktikan adanya proses fotokatalitik yang terjadi di permukaan paving block berlapis TiO₂. Paving yang digunakan sebagai kontrol disamakan dari segi jumlah maupun perlakuannya dengan paving yang berlapis TiO₂. Jadi ada 160 buah paving yang digunakan pada penelitian ini. Durasi pemaparan paving di lapangan dibagi menjadi

empat bagian yaitu 6 jam, 12 jam, 18 jam dan 24 jam.

Penentuan Konsentrasi Oksida Nitrogen (NO dan NO₂)

Oksida nitrogen di udara ambien yang diukur adalah NO dan NO₂. NO₂ diukur menggunakan Metode Griess Saltman Spectrofotometri. Gas NO₂ di udara direaksikan dengan pereaksi Griess Saltman (absorban) membentuk senyawa yang berwarna ungu. Intensitas warna yang terjadi diukur dengan spektrofotometer pada panjang gelombang 550 nm. Sedangkan gas NO dioksidasi dengan oksidator KMnO₄ atau K₂Cr₂O₇ sehingga membentuk NO₂. Selanjutnya gas tersebut direaksi dengan pereaksi Griess-Saltman. Pengambilan sampel dilakukan setiap satu jam sekali selama pemaparan.

Pengukuran Intensitas Ultraviolet

Pengukuran intensitas sinar ultraviolet (UV) dilakukan dengan menggunakan suatu instrumen solar radiometer UV A/B dalam satuan μW/cm². Sensor alat ukur dipasang vertikal (tegak lurus) terhadap sumber radiasi (matahari). Pengukuran dilakukan setiap 15 menit sekali selama pengambilan sampel di lapangan.

Pengukuran Kelembaban dan Suhu

Untuk menentukan kelembaban dan suhu, digunakan alat yang bernama Hygrotermometer, sebuah alat digital yang bisa mengukur kelembaban dan suhu sekaligus. Pengukuran dilakukan setiap 15 menit sekali selama pemaparan sampel di lapangan.

Kecepatan Angin

Untuk mengukur kecepatan angin di lapangan digunakan alat anemometer, dengan prinsip kerja adalah angin yang bertiup memutar baling-baling yang ada dialat dan sensor alat akan mengukur kecepatan putaran baling-baling tersebut. Pengukuran ini dilakukan setiap 15 menit sekali selama pemaparan sampel di lapangan.

Preparasi Sampel Ion Nitrat dan Nitrit

Sample ion nitrat dan nitrit yang berada di permukaan *paving* dilarutkan dengan aquades *deionized*, permukaan *paving* direndam selama lima menit dan kemudian dibilas. Volume air yang digunakan untuk setiap *paving* adalah ±200 mL. Larutan kemudian disaring menggunakan kertas saring dan disimpan dalam botol *high density polyethylene* didinginkan pada suhu 4 °C yang kemudian segera dianalisa dalam kurun waktu maksimum 48 jam. Konsentrasi ion nitrat dan nitrit yang terbentuk dipermukaan *paving* diukur menggunakan alat Ion Chromatography (IC).

pH dan Konduktivitas

Sampel larutan hasil dari pelarutan ion nitrat dan nitrit yang terbentuk dipermukaan *paving* diukur pH menggunakan pH meter dan konduktivitasnya menggunakan *conductivity meter*.

Kinetika Reaksi

Kinetika reaksi pembentukan HNO₃⁻ ditentukan dengan menerapkan hukum laju reaksi. Reaksi pembentukan HNO₃⁻ secara fotokatalitik pada permukaan *paving* yang berlapis TiO₂ disajikan pada persamaan reaksi (1). Reaksi fotokatalitik yang terjadi dipermukaan *paving* menunjukkan kinetika reaksi orde pertama dengan konstanta laju reaksi *k* (NO₂+TiO₂) adalah 0,041 ± 0,007 s⁻¹ (Laufs et al, 2010).



maka hukum laju reaksi untuk persamaan diatas adalah:

$$r = k [\text{NO}][\text{NO}_2][\text{O}_2][\text{H}_2\text{O}] \quad (2)$$

dimana:

r = laju reaksi

k = konstanta laju reaksi

[] = molaritas zat

Konsentrasi NO dan NO₂ ditentukan dari hasil pengukuran NO dan NO₂ di lapangan saat pemaparan, untuk konsentrasi O₂ ditentukan dari komposisi O₂ yang ada di atmosfer, sedangkan untuk konsentrasi H₂O ditentukan dari kelembaban yang terukur saat pemaparan

yang dikonversi ke kelembaban spesifik yang selanjutnya dikali dengan berat udara spesifik.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Komposisi Optimum Campuran TiO₂

Dari hasil percobaan awal untuk menentukan komposisi optimum campuran TiO₂ dihasilkan 9 buah *paving* yang memiliki berbagai variasi perbandingan antara TiO₂, *water based resin* dan air. Berbagai variasi ini diberi kode 1K, 2K, 3K, ...9K.

Sebelum dilakukan uji ketahanan aus, dilakukan uji secara sederhana terlebih dahulu yaitu dengan cara fisik dengan menggesekkan jari pada permukaan *paving* yang dilapisi TiO₂, lima buah *paving* dengan hasil terbaik dipisahkan, kelima buah *paving* terpilih tersebut **5k, 6k, 7k, 8k** dan **9k**. Kelima *paving* tersebut dilakukan uji ketahanan aus. Hasil uji ketahanan aus dari masing-masing variasi *paving* terpilih ditampilkan pada Tabel 1.

Selanjutnya dihitung biaya yang ditimbulkan dari komposisi campuran TiO₂ tersebut, informasi detail dari biaya tambahan dari TiO₂ dan resin diperlihatkan pada Tabel 2.

Tabel 1. Komposisi Perbandingan TiO₂, *Water Based Resin* dan Air per 1 m²*

Kode paving	Jumlah Paving (Buah)	Komposisi			Ketahanan Aus (mm/menit)
		TiO ₂ (gram)	WBR (mL)	Air (mL)	
5k	50	200	160	150	0,087
6k	50	250	250	375	0,085
7k	50	200	200	600	0,090
8k	50	150	150	200	0,090
9k	50	200	100	200	0,089

* 1 meter persegi setara dengan 50 buah paving

Tabel 2. Estimasi Harga Komposisi TiO₂ dan *Water Based Resin* Untuk Setiap 1 m²

Kode Paving	Jumlah Paving (Buah)	Komposisi (Rupiah)		TOTAL (Rupiah)
		TiO ₂	WBR	
5k	50	9000	6688	15688
6k	50	11250	10450	21700
7k	50	9000	8360	17360
8k	50	6750	6270	13020
9k	50	9000	4180	13180

Dengan mempertimbangkan biaya dan ketahanan aus maka perbandingan komposisi campuran yang dipilih adalah paving dengan kode **9k**.

Komposisi campuran optimum yang didapatkan selanjutnya dipakai untuk membuat campuran TiO₂ yang akan dilapisi di permukaan *paving*. Jumlah TiO₂ yang digunakan untuk setiap paving sekitar 4 gram. Gambar 6 dibawah ini memperlihatkan *paving* yang telah dilapisi oleh TiO₂ sebanyak 4 gram.



Gambar 6. *Paving Block* Berlapisi TiO₂

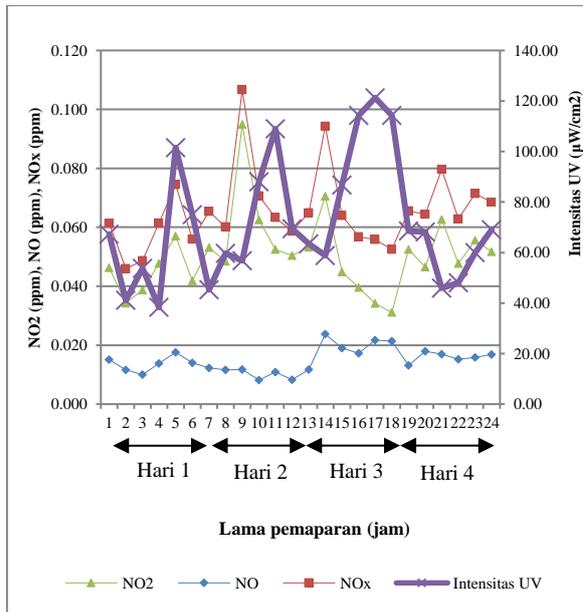
Kondisi Lapangan Selama Pengukuran

Pada Gambar 7 menunjukkan hasil pengukuran rata-rata per jam untuk konsentrasi NO, NO₂, NO_x dan intensitas ultraviolet selama pemaparan *paving* di lapangan. Nilai NO_x adalah penjumlahan konsentrasi NO dengan NO₂. Dari grafik yang disajikan dapat dilihat pengaruh intensitas UV terhadap konsentrasi NO_x. Intensitas UV yang tinggi memberikan pengaruh kepada NO_x, dimana konsentrasi NO_x turun pada saat intensitas UV yang tinggi. Turunnya konsentrasi NO_x ini disebabkan terjadinya proses *photochemical* karena kehadiran UV.

Sementara itu, pada Gambar 8 dapat dilihat hubungan antara suhu dan kelembaban di lapangan, dimana pada saat suhu tinggi, kelembaban yang terukur rendah.

Hasil analisa korelasi menunjukkan bahwa semakin tinggi suhu, maka konsentrasi NO_x yang terukur akan menjadi rendah. Sedangkan pada kelembaban yang rendah, hasil pengukuran NO_x akan ikut rendah. Pada analisa korelasi hubungan antara kecepatan angin dan

konsentrasi NO_x yang terukur menunjukkan bahwa hubungan kedua variabel ini lemah.

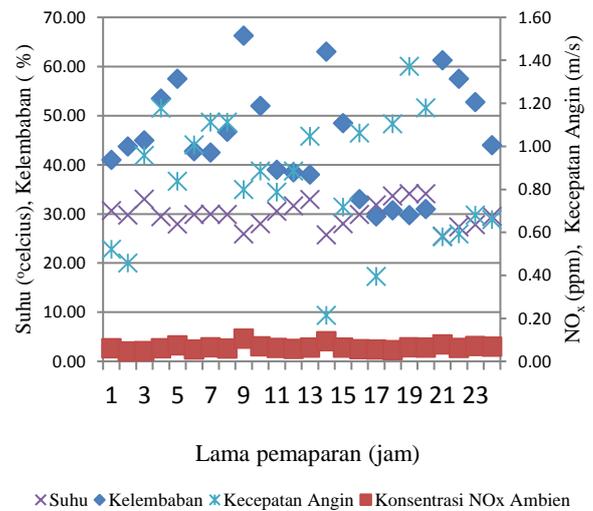


Gambar 7. Hasil Pengukuran NO, NO₂, NO_x dan Intensitas UV Selama di Lapangan

Sebanyak 40 buah paving berlapis TiO₂ yang digunakan dalam penelitian ini dan ada 40 buah paving tanpa dilapisi TiO₂ yang digunakan sebagai pembanding. Perlakuan dari kedua jenis paving tersebut diberlakukan secara sama. Pengambilan paving dari hasil pemaparan di lingkungan dilakukan pada jam ke 6, 12, 18 dan 24, dimana pada waktu tersebut diambil 10 buah paving berlapis TiO₂ dan 10 buah paving tanpa TiO₂ untuk selanjutnya akan diukur kandungan ion nitrat dan nitrit yang ada di permukaan paving tersebut.

Paving sebelum dan setelah pemaparan diukur kandungan ion nitrat dan nitritnya, dari hasil pengukuran didapatkan konsentrasi ion nitrat dan ion nitrit untuk paving tanpa TiO₂ sebesar 0,181 dan 0,073 ppm.

Sedangkan untuk paving berlapis TiO₂, 0 ppm untuk ion nitrat dan 0,013 ppm untuk ion nitrit. Hasil pengukuran ion nitrat dan nitrit sebelum pemaparan ini dijadikan koreksi untuk menentukan besaran ion nitrat dan ion nitrit yang dihasilkan akibat proses fotokatalitik yang terjadi di permukaan paving.



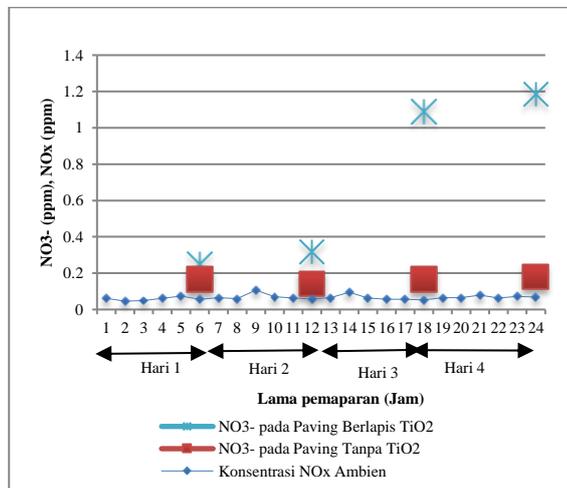
Gambar 8. Hubungan antara Suhu, Kelembaban, Kecepatan Angin terhadap Konsentrasi NO_x Terkandung Pada Kedua Jenis Paving

Pada Gambar 9 diperlihatkan hasil pengukuran ion nitrat yang terkandung didalam kedua jenis paving yang digunakan. Konsentrasi ion nitrat pada paving TiO₂ terlihat tinggi jika dibandingkan dengan konsentrasi ion nitrat paving tanpa TiO₂. Bahkan semakin lama waktu pemaparan nilai ion nitrat pada paving dengan TiO₂ bisa 6 kali lipat dibandingkan dengan paving tanpa TiO₂. Hal ini membuktikan adanya proses fotokatalitik yang terjadi pada paving berlapis TiO₂, namun pada paving tanpa TiO₂ tetap ada ion nitrat yang terukur, kemungkinan ini disebabkan oleh pengaruh debu dan partikel lainnya yang terbawa oleh angin selama pemaparan sehingga teradsorp pada permukaan paving tanpa TiO₂.

Kemampuan dari proses fotokatalitik TiO₂ dihitung dari selisih ion nitrat yang terukur dari paving berlapis TiO₂ dengan paving tanpa TiO₂. Pada Gambar 10 diperlihatkan kemampuan fotokatalitik dari paving berlapis TiO₂ dimana seiring dengan lamanya waktu pemaparan konsentrasi ion nitrat yang teradsorp pada permukaan paving semakin meningkat.

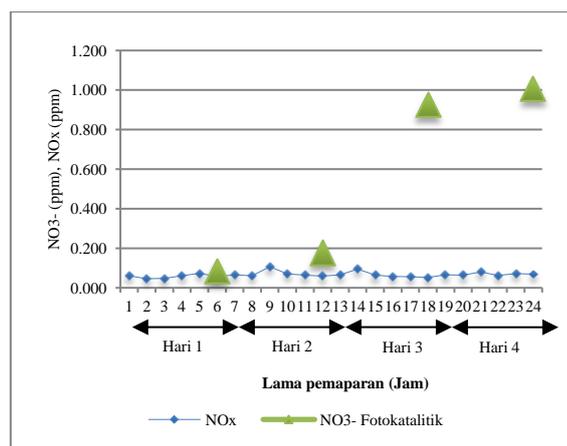
Untuk mengetahui laju reaksi pembentukan ion nitrat di permukaan paving berlapis TiO₂ dihitung berdasarkan persamaan reaksi (1), dimana reaksi fotokatalitik yang terjadi

diper permukaan *paving* menunjukkan kinetika reaksi orde pertama dengan konstanta kecepatan k ($NO_2 + TiO_2$) adalah $0,041 \pm 0,007 s^{-1}$ (Laufs et al, 2010).



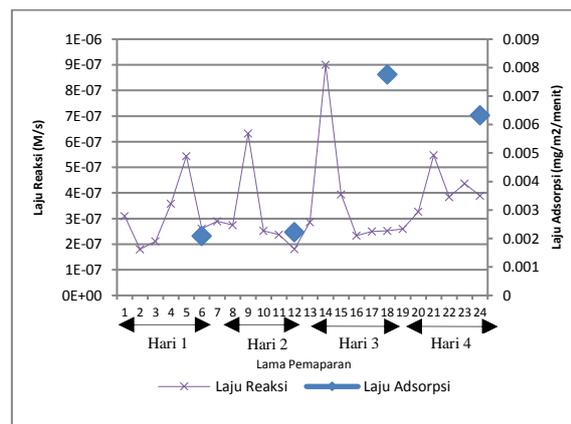
Gambar 9. Hasil Pengukuran Ion Nitrat yang

Dengan menerapkan hukum laju reaksi dan melalui pendekatan konsentrasi masing-masing senyawa yang ada pada reaksi pembentukan HNO_3^- (2), maka didapatkan kecepatan reaksi r rata-rata selama proses paparan sebesar $3,49 \times 10^{-7} M/s$. Sedangkan untuk mendapatkan kecepatan adsorpsi ditentukan dari kemampuan fotokatalitik TiO_2 dibagi dengan luas permukaan aktif TiO_2 dibagi dengan lama eksposur di lapangan.



Gambar 10. Kemampuan Fotokatalitik *Paving* Berlapis TiO_2 dan Konsentrasi NO_x

Pada Gambar 11 disajikan grafik hasil perhitungan laju reaksi dan laju adsorpsi *paving* berlapis TiO_2 .



Gambar 11. Hasil Perhitungan Laju Reaksi dan Laju Adsorpsi *Paving* Berlapis TiO_2

KESIMPULAN

Dari hasil penelitian menunjukkan bahwa *paving block* berlapis TiO_2 mampu menurunkan konsentrasi NO_x di udara ambien dengan harga yang murah memanfaatkan sinar matahari sebagai sumber energi aktifasi dan efek katalis dari TiO_2 , untuk mengendalikan NO dan NO_2 .

Kemampuan *paving* dalam mengadsorpsi ion nitrat dan ion nitrit sangat bervariasi selama proses pengukuran, dimana jumlah ion nitrat yang teradsorb lebih besar dari pada ion nitrit. Pada jumlah TiO_2 sebanyak 4 gram untuk setiap *paving* atau 200 gram untuk setiap meter persegi mampu mengadsorpsi gas NO_x dengan laju adsorpsi rata-rata sebesar $0,0046 mg/m^2/menit$ pada kondisi lingkungan dengan suhu rata-rata $29,89^\circ C$, kelembaban rata-rata $45,31 \%$, kecepatan angin rata-rata $0,84 m/s$, intensitas UV rata-rata sebesar $71,82 \mu W/cm^2$ dan konsentrasi gas NO_x rata-rata sebesar $0,066 ppm$. Biaya tambahan yang ditimbulkan dari penambahan TiO_2 pada permukaan *paving* sebesar $Rp. 13180/m^2$.

Sebagai gambaran, sebuah studi menunjukkan bahwa biaya berobat untuk penyakit pernafasan dari polutan NO_x adalah $64 - 315$ Dollar Amerika untuk setiap ton NO_x yang diemisikan (Mauzerall, dkk., 2005 dalam Laufs, dkk., 2010). Jika data ini diinterpolasikan, dapat diasumsikan bahwa setiap kilometer jalan berkontribusi $384 - 1953$ Dollar Amerika per tahun untuk biaya kesehatan atau setara $3,8$ juta - 20 juta rupiah tiap tahunnya. Oleh karena itu,

pemanfaatan *paving* berlapis TiO₂ layak untuk dipertimbangkan, walaupun dengan pengaplikasian ini tidak menghilangkan pencemar NO_x sampai 100%.

DAFTAR PUSTAKA

- Berdahl, P. and Akbari, H. 2008. "Evaluation of Titanium Dioxide as a Photocatalyst for Removing Air Pollutants". *California Energy Commission, PIER Energy-Related Environmental Research Program*. CEC-500-2007-112.
- Chusid, Michael. 2005. "FCSI, Next up.. Self-Cleaning Concrete! Photocatalysts Can Keep Concrete Clean and Reduce Air Pollution" *Concrete Décor*.
- Chen, Jun and Poon, Chi-sun. 2009. "Photocatalytic construction and building materials: From fundamentals to applications". *Building and Environment*. Vol. 44, 1899-1906
- Chen, Jun, Kou, Shi-cong and Poon, Chi-sun. 2012. "Hydration and properties of nano-TiO₂blended cement composites". *Cement & Concrete Composites*. Vol. 34, 642-649
- Diffey, B. L. (2002). Sources and measurement of ultraviolet radiation. *Methods* 28, 4-13.
- Fujishima A, Hashimoto K, and Watanabe T. 1999. "TiO₂ Photocatalysis: Fundamentals and Applications". *BKC*, Tokyo
- Fujishima, A., Rao, T. N., dan Tryk, D. A. (2000). Titanium dioxide photocatalysis. *Journal of Photochemistry and Photobiology C: Photochemistry Reviews*, 1-21.
- Hashimoto, K., Irie, H., dan Fujishima, A. (2005). TiO₂ Photocatalysis: A Historical Overview and Future Prospects. *Japanese Journal of Applied Physics*, Vol. 44, No. 12, 8269-8285.
- Laufs, S. Burgeth, G. Duttlinger, W. Kurtenbach, R. Maban, M. Thomas, C. Wiesen, P. Kleffmann, J. 2010. "Conversion of nitrogen oxides on commercial photocatalytic dispersion paints". *Atmospheric Environmen*. Vol. 44 , 2341 – 2349
- Paz, Yaron. 2010. "Application of TiO₂ photocatalysis for air treatment: Patents' overview". *Applied Catalysis B: Environmental*. Vol. 99, 448-460
- Shen, S., Maria, B., Bertram, J., dan Liv, H. (2012). Pervious Concrete with Titanium Dioxide as a Photocatalyst Compound for a greener urban road environment. *Construction and Building Materials* 35, pp. 874-883
- Toulan, Emmanuel; Maze, Michel; Rousseau, Pascal. 2006. "Depolluting device with TiO₂ photocatalyst particles in hydraulic binder coating activated by UV lamp for confined spaces" *EP 1652827*
- Maggos Th, Kotzias D, J. G. Bartzis, P. Leva, A. Bellintani, Ch. Vasilakos. 2005. "Investigations of TiO₂-containing Construction Materials for the Decomposition of NO_x in Environmental Chambers". *5th International Conference on Urban Air Quality*. Valencia (Spain). 29-31 March
- McForet. (2012, Juni 7). Retrieved from McForet: <http://www.mcforet.com/Especialidades/OFFNOx/tabid/3707/language/en-GB/Default.aspx>
- Yu, Jimmy Chai-Mei. 2002. "Ambient Air Treatment by Titanium Dioxide (TiO₂) Based Photocatalyst in Hong Kong". *Environmental Protection Department, HKSAR*. AS 00-467
- Zhao, Juan and Yang, Xudong. 2003. "Photocatalytic oxidation of indoor air purification: a literature review". *Building and Environment*, Vol. 38, 645-654