

STUDI PENGARUH INTENSITAS ULTRAVIOLET PADA FOTOKATALIS TiO₂ SEBAGAI REDUKSI NO₂ DAN MIKROORGANISME DALAM SISTEM VENTILASI RUANG

STUDY OF THE EFFECT OF ULTRAVIOLET INTENSITY ON TiO₂ PHOTOCATALYSTS AS NO₂ AND MICROORGANISM REDUCTION IN SPACE VENTILATION SYSTEMS

Tabah Suwasono¹⁾ dan Abdu Fadli Assomadi^{1*)}

¹⁾Departemen Teknik Lingkungan, Institut Teknologi Sepuluh Nopember, Surabaya 60111, Indonesia

^{*)}E-mail: assomadi@its.ac.id

Abstrak

Konsentrasi NO₂ di dalam kendaraan atau di dekat jalan raya jauh lebih tinggi daripada yang diukur pada monitor di jaringan saat ini. Beberapa pengukuran di daerah jalan raya dan terminal dilaporkan melewati baku mutu yang telah ditetapkan. Meskipun demikian, ada beberapa daerah dengan konsentrasi NO₂ di bawah baku mutu tetapi dari survei dan analisis data menunjukkan nilai *risk quotient* lebih dari 1 yang menunjukkan bahwa tidak aman berada di daerah tersebut dalam 30 tahun ke depan. Salah satu metode untuk mengurangi konsentrasi NO₂ adalah titanium dioksida (TiO₂) yang disinari UV. Penelitian ini dilakukan untuk melihat pengaruh intensitas ultraviolet pada fotokatalis TiO₂ dalam mereduksi NO₂ dan intensitas UV terhadap mikroorganisme. Data yang diambil adalah data sekunder. Setelahnya dilanjutkan dengan mencari kriteria desain dan dilanjutkan dengan pemilihan material. Perhitungan dimensi dilakukan berdasarkan material dan kriteria yang ditentukan, kemudian diestimasi efisiensi reduksi pada NO₂ dan mikroorganisme dapat dilakukan dan disesuaikan dengan baku mutu PerMenKes No. 1077 Tahun 2011. Hasil estimasi menunjukkan bahwa desain ventilasi ruang dengan menggunakan intensitas sebesar 75,8 μW/cm² pada fotokatalis TiO₂ mampu mereduksi NO₂ setidaknya 52,53% dengan konsentrasi inlet 0,067 ppm. Penggunaan intensitas 75,8 μW/cm² dalam desain ventilasi ruang mampu mereduksi mikroorganisme dengan nilai dosis UV D₉₀ di bawah 238,77 J/m². Desain ventilasi ruang secara estimasi mencukupi suplai udara ruang kamar rumah pada kondisi tidak merokok dengan hasil reduksi NO₂ sesuai baku mutu dan mendekati untuk mikroorganisme.

Kata kunci: Fotokatalis TiO₂, intensitas ultraviolet, mikroorganisme, NO₂, ventilasi ruang.

Abstract

NO₂ concentrations in vehicles or near highways are much higher than those shown on monitors in the current network. Some measurements in highway and bus station areas are reported to exceed the quality standards. Although some areas recorded NO₂ concentrations below quality standards, information from surveys and data analysis show a risk quotient value of more than 1, indicating that the area would not be safe for the next 30 years. One method to reduce NO₂ concentration is introducing titanium dioxide (TiO₂) illuminated by UV, the presence of UV can be studied related to the reduction of NO₂ and microorganisms. This research was conducted with the study of ultraviolet intensity on TiO₂ photocatalyst in reducing NO₂ and microorganisms. The data taken is secondary data. This was followed by finding design criteria, followed by material selection. Dimensional calculations are carried out based on the material and criteria determined, then the estimated reduction efficiency on NO₂ and microorganisms can be carried out and adjusted to the quality standards of PerMenKes No. 1077 of 2011. The estimation results show that the room

ventilation design using an intensity of 75.8 $\mu\text{W}/\text{cm}^2$ on TiO_2 photocatalyst is able to reduce NO_2 by at least 52.53% with an inlet concentration of 0.067 ppm. The use of an intensity of 75.8 $\mu\text{W}/\text{cm}^2$ in the space ventilation design was able to reduce microorganisms with a UV D90 dose value below 238.77 J/m^2 . The space ventilation design is estimated to be sufficient to supply home room air under non-smoking conditions with NO_2 reduction results fulfilled the quality standard and microorganisms near the fulfillment.

Keywords: *TiO_2 photocatalyst, ultraviolet intensity, microorganisms, NO_2 , space ventilation.*

1. PENDAHULUAN

Perkembangan fisik kota, pusat industri serta perkembangan transportasi telah menyebabkan kualitas udara mengalami perubahan dari yang segar menjadi kotor yang berdampak pada kesehatan masyarakat (Turyanti *et al.*, 2016). Pencemaran udara merupakan masuknya atau tercampurnya unsur berbahaya ke dalam atmosfer yang dapat mengakibatkan kerusakan lingkungan dan gangguan pada kesehatan manusia. Jenis sumber pencemaran udara berasal dari alami seperti letusan gunung berapi dan kegiatan manusia seperti transportasi, emisi pabrik, dan sebagainya. Pencemaran udara terjadi berbagai tempat seperti sekolah, kantor, di dalam rumah. Pencemaran yang seperti itu disebut juga sebagai pencemaran dalam ruangan (Simanjuntak, 2007).

Parameter pencemaran udara salah satunya adalah gas NO_2 yang sangat reaktif dan dikenal sebagai oksida nitrogen atau nitrogen oksida (NO_x). Konsentrasi NO_2 di dalam kendaraan atau di dekat jalan raya jauh lebih tinggi daripada yang diukur pada monitor di jaringan saat ini. Konsentrasi di dalam kendaraan bisa 2–3 kali lebih tinggi daripada yang diukur di monitor luas area terdekat. Konsentrasi NO_2 di dekat jalan raya telah diukur menjadi sekitar 30 hingga 100% lebih tinggi daripada konsentrasi yang jauh dari jalan raya. Individu yang menghabiskan waktu di dekat jalan raya utama dapat mengalami paparan NO_2 jangka pendek jauh lebih tinggi. Studi menunjukkan adanya hubungan yang kuat antara pernapasan, peningkatan konsentrasi NO_2 jangka pendek, peningkatan kunjungan ke bagian gawat darurat dan masuk rumah sakit untuk masalah pernapasan, terutama asma. Konsentrasi paparan NO_2 di dekat jalan raya menjadi perhatian khusus bagi individu yang rentan,

termasuk penderita asma, anak-anak, dan orang tua (Philpott, 2015).

Mikroorganisme yang terbawa udara adalah kontaminan biologis di udara seperti bakteri, virus atau jamur serta racun di udara. Kontaminan tersebut menimbulkan penularan penyakit melalui udara, tanpa kontak fisik, dan menyebabkan iritasi paling sedikit berupa bersin, batuk, atau gangguan pernapasan lain. Mikroorganisme di udara adalah penyebab utama penyakit pernapasan seperti alergi dan infeksi patogen (Gray, 2012).

Titanium dioksida (TiO_2) adalah salah satu fotokatalis utama yang digunakan untuk beberapa dekomposisi senyawa organik dan reduksi gas berbahaya (Fujishima *et al.*, 2000). Reaksi fotokatalitik TiO_2 terjadi ketika adanya penyinaran sinar UV dan dapat mendegradasi polutan NO_2 (Nguyen & Bai, 2014). Adanya lampu UV pada fotokatalis TiO_2 dapat ditinjau pengaruhnya terhadap mikroorganisme, ditambah lagi dengan kondisi pandemi, sehingga dari hal tersebut dilakukan studi terkait dengan intensitas UV dari fotokatalis TiO_2 dalam pengaruhnya terhadap NO_2 dan mikroorganisme yang berada di udara. Kemudian, dari studi tersebut dilakukan desain yang mencukupi untuk suplai udara ruang.

2. METODE

Penelitian yang dilakukan bersifat studi literatur, data yang digunakan menggunakan data sekunder yang meliputi: konsentrasi NO_2 , angka mikroorganisme udara (bakteri dan fungi), kriteria desain sistem ventilasi ruang, dan material penyusun desain sistem ventilasi ruang.

Data yang telah terkumpul dilakukan pengolahan dan perencanaan desain sistem ventilasi ruang. Basis konsentrasi NO_2 di udara

digunakan konsentrasi di sekitar jalan raya dan terminal. Angka mikroorganisme udara yang digunakan mencakup populasi bakteri dan fungi. Kriteria desain sistem ventilasi ruang meliputi, intensitas ultraviolet, rasio TiO₂/karbon aktif, jarak antar plat, waktu detensi dan laju udara inlet dalam sistem ventilasi udara ruang. Digunakan kriteria yang mampu mengurangi kontaminan hingga memenuhi baku mutu. Analisis material perlu dilakukan untuk mempertimbangkan desain yang bisa direncanakan dalam sistem ventilasi ruang. Material dipertimbangkan dengan melihat ketersediaannya di Indonesia, kemudian dilakukan penyusunan desain ventilasi ruang. Penyusunan desain dilakukan berdasarkan kriteria yang diteliti pada penelitian sebelumnya dan digambar dalam *software Autocad*.

Selesai penyusunan desain dilakukan tinjauan estimasi terhadap NO₂ dan mikroorganisme. Estimasi reduksi NO₂ pada fotokatalis TiO₂ dilakukan dengan perlakuan lampu UV, katalis TiO₂, dan UV-katalis TiO₂ berdasarkan fotokatalitik dan kriteria yang digunakan. Uji UV-katalis TiO₂ fotokatalitik menggunakan data penelitian terdahulu (Boedisantoso & Lestari, 2003). Kemudian dihubungkan dengan persamaan Langmuir Hinselwood yang sederhana (Prastino, 2012).

$$r = \frac{kKC}{1+KC} \quad (1)$$

$$\frac{1}{r} = \left(\frac{1}{kK}\right) \left(\frac{1}{C_0}\right) + \frac{1}{K} \quad (2)$$

Dimana r adalah laju degradasi (reduksi) (ppm/menit), k menyatakan konstanta reaksi (ppm/menit), C_0 merupakan konsentrasi gas inlet awal (ppm) dan K adalah koefisien adsorpsi Langmuir (1/ppm), C adalah konsentrasi nitrogen dioksida (ppm). Uji perlakuan UV dilakukan estimasi berdasarkan tinjauan litetartur. Kedua uji lainnya menggunakan hasil penelitian terdahulu (Boedisantoso & Lestari, 2003). Estimasi mikroorganisme dilakukan dengan menghitung dosis UV yang dipaparkan dalam sistem ventilasi ruang kemudian menghitung estimasi reduksi dengan mengabaikan proses fotokatalitik TiO₂. Uji

mikroorganisme menggunakan perhitungan dosis UV dan estimasi reduksi mikroorganisme menggunakan peluruhan orde pertama (Persamaan 3 dan 4).

$$D = Et \times Ir \quad (3)$$

$$S = e^{-kD} \quad (4)$$

Pada persamaan tersebut, D adalah dosis pemaparan UV (J/m²), Et adalah waktu pemaparan (s), Ir merupakan Intensitas (W/m²), e yaitu eksponen (2,71828), S merupakan *survival*, fraksional, k adalah konstanta laju UV (m²/J). Hasil estimasi dibandingkan dengan baku mutu NO₂ dan mikroorganisme pada PerMenKes No. 1077 Tahun 2011.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1 Kondisi Eksisting Nitrogen Dioksida

Hasil pengukuran konsentrasi nitrogen dioksida berdasarkan penelitian sebelumnya oleh Hikmiah, (2018) dan Dwirahmawati *et al.*, (2018) disajikan dalam tabel 1. Pengukuran dilakukan pada rentang suhu 30,6-34,5°C, dengan kelembapan udara 57-71%. Sementara itu, kecepatan angin berkisar antara 0,3–2 m/s dengan arah angin yang dominan ke arah barat pada cuaca yang cerah.

Data pengukuran konsentrasi NO₂ cenderung konsisten pada saat pengukuran siang hari di titik kedatangan, keberangkatan Terminal Bungurasih, dan Simpang Susun Cikunir pada pukul 12.00-13.00 WIB masing-masing yaitu 0,064 ppm, 0,062 ppm dan 0,076 ppm. Pengukuran di Gerbang Tol Dupak 1 Surabaya saat siang hari adalah 0,008 ppm. Hasil ini berbeda jauh dengan hasil pengukuran di tiga lokasi sebelumnya salah satunya dikarenakan adanya dispersi NO₂ akibat kecepatan angin yang tinggi. Dikarenakan konsistensi data pada pengukuran siang hari maka konsentrasi yang digunakan dalam perencanaan desain sistem ventilasi ruang adalah rata-rata dari ketiganya yaitu 0,067 ppm.

3.2 Kondisi Eksisting Mikroorganisme

Beberapa kondisi mikroorganisme (fungi dan bakteri) yang telah diukur di penelitian

sebelumnya oleh Mentese *et al.*, (2009) dan Balasubramanian *et al.*, (2012) yang dilakukan di Ankara Turki, disajikan pada Tabel 2. Pengukuran mikroorganisme luar ruangan (*outdoor*) penelitian sebelumnya dilakukan pada kondisi pengukuran temperatur udara -2 °C sampai 29°C dengan kelembapan relatif (RH) berkisar 17-67%. Berdasarkan hasil tersebut, spesies mikroorganisme luar ruangan yang ditemukan bervariasi, mikroorganisme bakteri yang kebanyakan ditemukan adalah *S. auricularis*, *S. hominis*, *Bacillus spp.* dan *Micrococcus spp.* Sedangkan mikroorganisme fungi yang banyak ditemukan di luar ruangan adalah *Penicillium spp.*, *Aspergillus spp.*, *Pithomyces spp.* dan *Cladosporium spp.*

Tabel 1. Hasil Pengukuran Konsentrasi NO₂ Eksisting

Waktu	Konsentrasi (ppm)	Lokasi
07.00-08.00	0,071	Kedatangan, Bungurasih
	0,067	Keberangkatan, Bungurasih
12.00-13.00	0,064	Kedatangan, Bungurasih
	0,062	Keberangkatan, Bungurasih
17.00-18.00	0,101	Kedatangan, Bungurasih
	0,181	Keberangkatan, Bungurasih
12.00-13.00	0,024	Bervegetasi, Simpang Cikunir
	0,076	Tidak Bervegetasi, Simpang Cikunir
13.00-14.00	0,019	Bervegetasi, Simpang Cikunir
	0,037	Tidak Bervegetasi, Simpang Cikunir
14.00-15.00	0,013	Simpang Cikunir
	0,043	Bervegetasi, Simpang Cikunir
		Tidak Bervegetasi, Simpang Cikunir

Pengukuran pada udara luar ruang (tanpa taman kanak-kanak) terdapat hasil di bawah nilai deteksi (*lower detection level*) tetapi rata-rata konsentrasi yang terukur adalah 57 CFU/m³ untuk fungi dan bakteri. Konsentrasi fungi yang rendah di luar ruang dimungkinkan disebabkan karena pengukuran berada pada musim dingin

(Mentese *et al.*, 2009). Hal ini diperkirakan terjadi karena pengukuran fungi lain pada tempat dengan suhu yang lebih tinggi (26,6-31,3 °C), menunjukkan jumlah fungi yang tinggi juga yaitu 435 CFU/m³ (Balasubramanian *et al.*, 2012). Indonesia merupakan daerah tropis yang suhu rata-rata lebih tinggi dengan daerah pengukuran tersebut. Maka data yang digunakan nantinya adalah data pengukuran udara luar sebelumnya yang memiliki angka tinggi yaitu 435 CFU/m³ untuk fungi dan 204 CFU/m³ untuk bakteri.

Tabel 2. Angka mikroorganisme udara luar ruangan

Mikroorganisme	Hasil (CFU/m ³)	Lokasi
Bakteri	221-2456	Taman kanak-kanak
Bakteri	<LOD-204	Outdoor (luar ruang)
Bakteri	191	Outdoor (luar ruang)
Fungi	27-53	Taman kanak-kanak
Fungi	<LOD-203	Outdoor (luar ruang)
Fungi	435	Outdoor (luar ruang)

*LOD-*lower detection level*.

3.3 Kriteria Desain Sistem Ventilasi Ruang

3.3.1 Rasio TiO₂/Karbon Aktif

Penggunaan Rasio TiO₂/KA 85:15% menunjukkan TiO₂ yang tidak menggumpal. Hal ini dikarenakan adanya cukup karbon aktif yang mencegah penggumpalan sehingga meningkatkan luas permukaan partikel TiO₂ dan meningkatkan aktivitas fotokatalisnya (Septiani *et al.*, 2015). Hasil serupa lain Slamet & Rita (2007), dengan komposisi optimum serupa menggunakan perbandingan 85:15%.

3.3.2 Intensitas Ultraviolet

Efisiensi reduksi NO₂ mencapai tingkat tertinggi pada penelitian sebelumnya (62,4589%) pada intensitas 30,2 μW/cm², nilai rata-rata terbesar juga pada intensitas tersebut yaitu 40,07% dibandingkan dengan intensitas 9 μW/cm² yang hanya memiliki rata-rata 28,47%, sehingga kriteria dalam perencanaan digunakan lampu UV intensitas ≥ 30,2 μW/cm² (0,302 W/m²) dengan tingkat reduksi NO₂ antara 52,53% dengan konsentrasi inlet 0,05-1,00 ppm di mana

nilai konsentrasi NO₂ eksisting adalah 0,067 ppm.

3.3.3 Jarak Antar Plat Fotokatalis

Tabel 3 menunjukkan bahwa jarak antar plat 2 cm memiliki tingkat reduksi yang tinggi baik untuk 2 intensitas yang diujikan masing-masing 44,8341% dan 52,53 %, dibandingkan dengan jarak plat 1 cm dan 1,5 cm tingkat reduksi ini meningkat hampir 10% pada intensitas 30,2 μW/cm² dan hampir 20% pada intensitas 9 μW/cm². Hasil dari jarak antar plat ini menjadi kriteria yang baik untuk digunakan perencanaan desain sistem ventilasi ruang dengan efisiensi mencapai 52,53%.

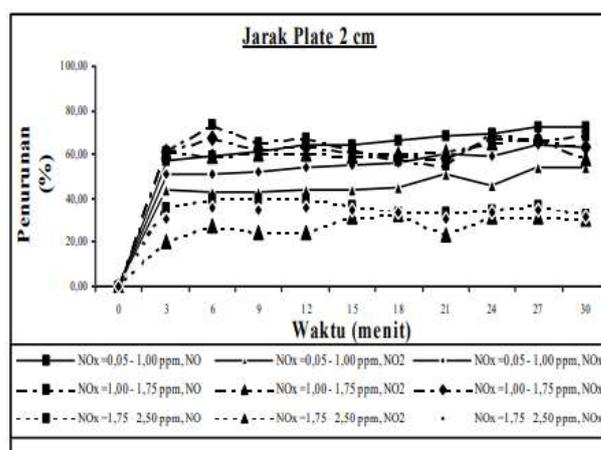
Tabel 3. Efisiensi reduksi NO_x dengan waktu 9 menit terhadap Intensitas UV

Jarak Plat	Konsent rasi awal (ppm)	Efisiensi Reduksi		
		0 μW/cm ² (%)	9 μW/cm ² (%)	30,2 μW/cm ² (%)
1	0,05 - 1,00	2,3157	24,9451	28,3751
1	1,00 - 1,75	2,4242	27,4112	47,0552
1	1,75 - 2,50	0,9153	17,8719	21,7067
1,5	0,05 - 1,00	4,79	18,3377	43,2228
1,5	1,00 - 1,75	1,8622	38,8764	47,3804
1,5	1,75 - 2,50	1,794	10,3123	22,8772
2	0,05 - 1,00	2,8583	44,8341	52,53
2	1,00 - 1,75	3,0478	51,8248	62,4589
2	1,75 - 2,50	4,296	21,8873	35,0934
Rata-rata		2,7	28,47	40,07

3.3.4 Waktu Detensi

Penelitian yang telah dilakukan sebelumnya (Boedisantoso & Lestari, 2003) selama 30 menit percobaan dengan pengukuran di setiap 3 menit menunjukkan bahwa reduksi NO₂ pada menit 3 sampai menit 30 cenderung konstan baik di konsentrasi inlet 0,05-1,00 ppm, 1,00-1,75 ppm dan 1,75-2,50 ppm seperti pada Gambar 1.

Konsentrasi 0,05-1,00 ppm dan jarak plat 2 cm pada waktu 3 menit dapat mencapai reduksi 43% yang mana hasil ini tidak terpaut jauh dengan pengukuran 30 menit akhir yang mencapai 52,53%. dikarenakan kecenderungan efisiensi reduksi NO₂ konstan dari menit 3 sampai menit 30, maka kriteria minimal yang digunakan dalam perhitungan adalah 3 menit sehingga dalam perencanaan desain sistem ventilasi ruang digunakan 3 menit.



Gambar 1. Efisiensi reduksi NO₂ terhadap waktu pada jarak plate 2 cm

3.3.5 Laju Udara Inlet

Kriteria laju udara *inlet* mengikuti SNI 03-6572-2001, perencanaan desain sistem ventilasi ruang direncanakan untuk kecukupan suplai udara dalam ruang kamar tidur 0,3 m³/menit/kamar untuk kondisi tanpa merokok.

3.4 Perencanaan Desain Sistem Ventilasi Ruang

3.4.1 Material Utama Desain

Material penyusun dari desain direncanakan menggunakan triplek dengan ketebalan 9 mm dan di lapiasi dengan aluminium foil bagian dalamnya. Penggunaan aluminium foil ini bertujuan untuk mengoptimalkan intensitas sinar UV dan menghindari kontak antara NO₂ dengan triplek yang dimungkinkan terjadinya adsorpsi. Triplek memiliki ketebalan 9 mm, Sedangkan Aluminium foil yang dipakai bertipe *single side coating*.

3.4.2 Lampu Ultraviolet

Lampu Ultraviolet yang digunakan adalah UVC dikarenakan sesuai dengan panjang gelombang untuk *band gap* fotokatalis TiO₂ sebesar 3,2 eV bila disinari dengan sinar UV berenergi > 3,2 eV atau pada panjang gelombang < 388 nm. Tipe yang digunakan adalah G20T10 dengan panjang gelombang 253.7 nm merek Sankyo Denki dengan panjang lampu 58 cm, 62 termasuk kap, daya 20 watt dengan intensitas 0,758 W/m² (sesuai kriteria 0,302 W/m²).

3.4.3 Media Penyangga

Penggunaan plat (media penyangga) untuk melapiskan kombinasi TiO₂ dan karbon aktif dalam sistem ventilasi ruang adalah aluminium karena selain mampu sebagai penyangga sekaligus reflektor cahaya di sistem ventilasi ruang, penggunaan rencana adalah dengan spesifikasi aluminium 0,2 mm x 1 m.

3.4.4 Kipas (*fan*)

Kebutuhan suplai udara yang dibutuhkan sesuai SNI 03-6572-2001 untuk ruang kamar tidur adalah 0,3 m³/menit/kamar dengan kondisi tanpa merokok, maka dalam sebuah kamar dibutuhkan 0,3 m³/menit. Sehingga kipas yang direncanakan harus mampu menyuplai udara ≥ 0,3 m³/menit. direncanakan penggunaan kipas adalah Deepcool XFAN 80 dengan dimensi 80 mm x 80 mm x 25 mm dengan laju udara maksimal 0,6173 m³/menit (kriteria ≥ 0,3 m³/menit).

3.4.5 Perhitungan Dimensi

Analisis penggunaan material dilanjutkan dengan perhitungan dimensi desain sistem ventilasi ruang.

a. Volume sistem ventilasi ruang

Volume dihitung berdasarkan laju udara kipas 0,6173 m³/menit dan waktu detensi yang digunakan (3 menit), dengan mengalikannya didapatkan volume yang sesuai yaitu 1,852 m³.

b. Banyak kompartemen dan plat per kompartemen

Direncanakan volume dibagi menjadi beberapa kompartemen, per kompartemen,

panjang setiap kompartemennya mengikuti ukuran plat fotokatalis TiO₂/karbon aktif. Plat fotokatalis disusun vertikal terhadap desain. Direncanakan panjang dan tinggi plat 1 m, dengan panjang lampu 0,62 m dan jarak antar plat 0,02 m, didapatkan jumlah plat 31 buah, sedangkan volume efektif (volume terjadi reaksi pada katalis) dihitung dengan mengalikan tinggi lampu UV, tinggi plat, dan panjang plat, didapatkan 0,62 m³. Jumlah kompartemen dihitung dengan membagi volume sistem ventilasi ruang dengan V efektif, dan didapatkan jumlah 3 buah.

c. Dimensi luar desain

Dimensi luar desain direncanakan dengan memperkirakan mencukupi untuk lebar lampu, sehingga panjang, lebar dan tinggi masing-masing direncanakan 1,2 m, 0,8 m dan 1 m.

d. Plat distribusi

Direncanakan plat distribusi kipas dengan posisi tegak lurus dengan plat fotokatalis untuk menghomogenkan debit inlet udara dari kipas. Direncanakan jumlah lubang total 90 buah dengan masing masing ruang antar plat 3 buah dengan diameter 1 cm per lubang.

e. Dimsnei *inlet* dan *outlet*

Dimensi *inlet* dan *outlet* sistem ventilasi ruang direncanakan memiliki ukuran yang sama dengan ukuran kipas yaitu 0,08 m x 0,08 m, dimensi yang menyesuaikan ukuran kipas juga diterapkan antar kompartemen.

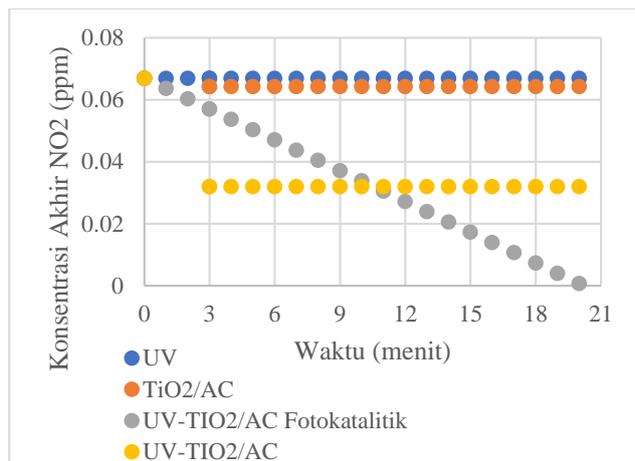
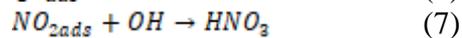
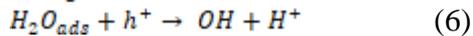
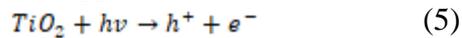
3.5 Kajian Estimasi Reduksi NO₂

Kajian estimasi dilakukan membandingkan tiga perlakuan yaitu kondisi lampu UV menyala tanpa katalis TiO₂/KA (UV), Lampu UV mati dengan katalis TiO₂/KA, Lampu UV menyala dengan katalis TiO₂/KA. Pada perlakuan lampu UV menyala dengan katalis TiO₂/KA dilakukan juga estimasi fotokatalitik dari persamaan langmuir hinselwood sederhana. Merujuk pada penelitian sebelumnya (Gambar 1) fotokatalis TiO₂ cenderung naik tajam pada 3 menit awal

dan stabil setelahnya., Sehingga hasil estimasi mengikuti tersebut yang terlihat seperti gambar 2.

Desain ventilasi ruang (UV-TiO₂/KA) di desain memiliki waktu detensi 3 menit sesuai dengan kriteria. Hasil estimasi menunjukkan bahwa dalam desain mampu mereduksi NO₂ menjadi 0,032 ppm sudah memenuhi baku mutu PerMenKes No. 1077 Tahun 2011 yaitu 0,04 ppm untuk NO₂ dalam ruang. Secara kinetika degradasi fotokatalitik, hasil NO₂ akhir adalah 0,057 masih perlu reduksi NO₂ 0,017 ppm lagi untuk mencapai baku mutu 0,04.

Pada kondisi perlakuan lampu UV nyala tanpa katalis (UV) dan hanya menggunakan TiO₂/KA tanpa UV (TiO₂/KA) menunjukkan bahwa konsentrasi NO₂ setelah melewati desain masih diatas 0,06 ppm yang masih jauh dengan baku mutu udara ruang. Secara teoritis (Ballari et al., 2010), reduksi tinggi terjadi karena Perangkap hole (h⁺) yang berada di permukaan bereaksi dengan uap air (H₂O) yang telah teradsorpsi dalam TiO₂ dan karbon aktif membentuk hidroksil radikal yang mana akan bereaksi dengan NO₂ sehingga konversi bisa terjadi.



Gambar 2. Hubungan konsentrasi akhir NO₂ dengan waktu pada kondisi berbedadalam desain sistem ventilasi ruang.

Analisis estimasi konsentrasi NO₂ secara fotokatalitik pada desain ventilasi ruang

menunjukkan hasil yang belum memenuhi baku mutu, untuk meningkatkan reduksi dalam desain bisa menggunakan waktu detensi yang lebih lama dengan menggunakan fan yang debitnya lebih kecil dari desain, yaitu di *range* (0,3-0,6173 m³/menit) sesuai kebutuhan kamar tidur 0,3 m³/menit/kamar untuk kondisi tanpa merokok. Solusi lain yaitu dengan menambah jumlah kompartemen sebanyak 6 untuk meningkatkan waktu kontak sampai 9 menit sehingga secara fotokatalitik memenuhi baku mutu. Akan tetapi jika ditinjau lagi berdasarkan hasil perhitungan laju awal degradasi (ro) = 0,036 ppm/menit, maka dengan waktu detensi 3 menit diestimasikan cukup untuk memenuhi baku mutu karena sesuai dengan penelitian sebelumnya oleh Boedisantoso & Lestari, (2003) bahwa reaksi fotokatalitik terjadi dari menit 0-3 dan cenderung stabil setelahnya

3.6 Kajian Estimasi Tingkat Desinfeksi Mikroorganisme

Digunakan nilai D₉₀ (desinfeksi mencapai 90%) dari bakteri dan fungi keduanya tipe vegetatif yang masing masing adalah 6 J/m² dan 23 J/m² Kowalski, (2009) sebagai dasar perhitungan desinfeksi dalam desain ventilasi ruang. Merujuk (3) didapatkan dalam desain memiliki dosis pemaparan UV sebesar 238,77 j/m², kemudian dihubungkan dengan (4) dan kondisi eksisting mikroorganisme (bakteri dan fungi) didapatkan 9,67 x 10⁻³⁹ CFU/m³ untuk bakteri dan 1,92x10⁻⁸ CFU/m³ untuk fungi.

Hasil perhitungan tersebut jika disesuaikan dengan baku mutu PerMenKes No. 1077 Tahun 2011, angka kuman (bakteri) dan fungi yang masuk udara ruang masing masing adalah <700 CFU/m³ dan 0 CFU/m³. Intensitas yang dipaparkan oleh desain ventilasi ruang dengan menggunakan 3 lampu ultraviolet yang disusun per kompartemen pada waktu detensi 3 menit adalah 238,77 J/m², intensitas tersebut mampu mengurangi ke tingkat desinfeksi 9,67 x 10⁻³⁹ untuk bakteri dan 1,92 x 10⁻⁸, angka fungi memiliki nilai yang sangat kecil hampir mendekati 0 (mendekati baku mutu yang telah ditetapkan). Dari hasil perhitungan desain sistem ventilasi ruang sesuai untuk

mikroorganisme dengan dosis standar yaitu desinfeksi 90% (D_{90}) $\leq 238,77 \text{ J/m}^2$.

4. KESIMPULAN

- 1) Ultraviolet pada fotokatalis TiO_2 berpengaruh terhadap reduksi NO_2 pada konsentrasi inlet NO_2 0,067 ppm, Penggunaan intensitas $75,8 \mu\text{W/cm}^2$ dan katalis TiO_2/KA diestimasi mampu mereduksi $\text{NO}_2 \geq 52,53\%$.
- 2) Intensitas ultraviolet $75,8 \mu\text{W/cm}^2$ diestimasi mampu mereduksi mikroorganisme di udara dengan nilai D_{90} dibawah $238,77 \text{ J/m}^2$, konsentrasi inlet 435 CFU/ m^3 (fungi) dan 204 CFU/ m^3 (bakteri) diestimasi tereduksi sampai $1,92 \times 10^{-8}$ CFU/ m^3 (fungi) dan $9,67 \times 10^{-39}$ CFU/ m^3 (bakteri). Intensitas ultraviolet memiliki kemiripan pengaruh, baik terhadap fotokatalis TiO_2 dalam reduksi NO_2 maupun mikroorganisme karena keduanya mampu terserap baik akibat kesesuaian panjang gelombang UV.
- 3) Desain ventilasi ruang kamar rumah kondisi tidak merokok yang direncanakan memiliki suplai udara sebesar $0,617 \text{ m}^3/\text{menit}$ diestimasi mampu mereduksi NO_2 0,067 ppm menjadi 0,032 ppm, sesuai baku mutu PerMenKes No. 1077 Tahun 2011. Desain yang digunakan memiliki spesifikasi Rasio $\text{TiO}_2/\text{Karbon aktif}$ 85:15%, Intensitas UV $75,8 \mu\text{W/cm}^2$, Jarak antar plat 0,02 cm.

Ucapan Terima Kasih

Penulis mengucapkan terima kasih kepada Direktorat Pendidikan Tinggi, Departemen Pendidikan dan Kebudayaan Republik Indonesia yang telah memberikan dukungan finansial melalui Beasiswa Bidik Misi tahun 2017-2021, penulis juga berterimakasih kepada Bapak Dosen atas bimbingan dan arahan selama pengerjaan penelitian.

DAFTAR PUSTAKA

Balasubramanian, R., Nainar, P., & Rajasekar, A. (2012). Airborne bacteria, fungi, and endotoxin levels in residential

microenvironments: a case study. *Aerobiologia*, 28(3), 375–390. <https://doi.org/10.1007/s10453-011-9242-y>.

Ballari, M. M., Hunger, M., Hüsken, G., & Brouwers, H. J. H. (2010). NO_x photocatalytic degradation employing concrete pavement containing titanium dioxide. *Applied Catalysis B: Environmental*, 95(3–4), 245–254. <https://doi.org/10.1016/j.apcatb.2010.0>.

Boedisantoso, R., & Lestari P. (2003). Proses fotokatalitik dengan katalis TiO_2 menggunakan reaktor multiplate untuk menyisihkan gas NO_x . *Jurnal Purifikasi*, 4(4):169-174

Dwirahmawati, F., Nasrullah, N., & Sulistyantara, B. (2018). Analisis perubahan konsentrasi nitrogen dioksida (NO_2) pada area bervegetasi dan tidak bervegetasi di jalan simpang susun. *Jurnal Lanskap Indonesia*, 10(1), 13–18. <https://doi.org/10.29244/jli.2018.10.1.13-18>.

Fujishima, A., Rao, T. N., dan Tryk, D. A. (2000). Titanium dioxide photocatalysis. *Journal of Photochemistry and Photobiology C: Photochemistry Reviews*, 1:1-21.

Gray, M., (2012). Airborne microbes. <URL: https://serc.carleton.edu/NAGTWorkshops/health/case_studies/microbes_air.html>. Diakses tanggal 9 Februari 2021

Hikmiah, A. F. (2018). Analisis kadar debu dan NO_2 di udara ambien serta keluhan pernapasan pada pekerja penyapu di terminal purabaya Kabupaten Sidoarjo. *Jurnal Kesehatan Lingkungan*, 10(2), 138. <https://doi.org/10.20473/jkl.v10i2.2018.138-148>.

Kowalski, W. (2009). Ultraviolet germicidal irradiation handbook for air dan surface disinfection. *Berlin: Verlag Berlin Heidelberg*.

Menteş, S., Arisoy, M., Rad, A. Y., & Güllü, G. (2009). Bacteria and fungi levels in various

- indoor and outdoor environments in Ankara, Turkey. *Clean - Soil, Air, Water*, 37(6), 487–493.
<https://doi.org/10.1002/clen.200800220>.
- Nguyen, N. H., & Bai, H. (2014). Photocatalytic removal of no and no₂ using titania nanotubes synthesized by hydrothermal method. *Journal of Environmental Sciences (China)*, 26(5), 1180–1187.
[https://doi.org/10.1016/S1001-0742\(13\)60544-6](https://doi.org/10.1016/S1001-0742(13)60544-6).
- Philpott, D. (2015). *Critical Government Documents on the Environment. USA: Bernan Press.*
- Prasthio, A. (2012). Degradasi gas NO₂ dengan proses adsorpsi dan fotokatalitik menggunakan zeolit alam teraktifasi yang diintegrasikan dengan TiO₂ untuk aplikasi masker kesehatan. *Depok: Universitas Indonesia.*
- Septiani, U., Gustiana, M., & -, S. (2015). Pembuatan dan karakterisasi katalis TiO₂/karbon aktif dengan metode solid state. *Jurnal Riset Kimia*, 9(1), 34-38.
<https://doi.org/10.25077/jrk.v9i1.257>.
- Simanjuntak A. G., (2007). Pencemaran udara. *J. Buletin Limbah* 11(1):34-41.
- Slamet, Bismo, S. & Rita, A. (2007). Modifikasi zeolit alam dan karbon aktif dengan tio₂ serta aplikasinya sebagai bahan adsorben dan fotokatalis untuk degradasi poltan organik. *Laporan Penelitian Hibah Bersaing Universitas Indonesia.*
- Turyanti, A., June, T., Aldrian, E., & Noor E. (2016). Analisis pola dispersi partikulat dan sulfurdiodksida menggunakan model wrfchem di sekitar wilayah industri tangerang dan jakarta. *Jurnal Manusia dan Lingkungan*, 23(2), 169–178.