

UV RADIATION FOR AIR DISINFECTION

Maria Ulfa^{1*}, Meirita Rahmi Azizi¹, Agus Jamal², Arlina Dewi¹

***Correspondence Author: mariaulfa@umy.ac.id*

¹Magister Administrasi Rumah Sakit, Universitas Muhammadiyah Yogyakarta

²Program Studi Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Yogyakarta

INDEXING

Keywords:

UV Disinfection;
UVGI
UV Airtreatment;

Kata kunci:

Disinfeksi UV;
UVGI;
Disinfeksi Udara

ABSTRACT

Disinfection for air, water, and surfaces has been arised public interest and improved along the technology development. Disinfection with UV is included in the development and have been approved for its benefit to inactivate pathogens. It also cause the increasing number of UV disinfection product on the market. This paper aims to explain and describe the information about the utilization of Ultraviolet radiation as a disinfection. This article discusses about the UV radiation for air disinfection, the wavelength of UV, the Recommended dose of UV, the effectiveness of UV disinfection, and the safety concern in respect of UV radiation for air disinfection. UV disinfection is an energy-based disinfection method that uses UV doses at specific wavelengths to inactivate microorganisms. UV irradiation is traditionally divided into four regions; UVA (315–400 nm), UVB (280–315 nm), UVC (200–280 nm) and vacuum UV (VUV, 100–200 nm). The effect of UV irradiation on microorganisms is called "inactivation" instead of "killing". UVGI is the use of UV irradiation in the wavelength of 200–320 nm fitted with the germicidal range to disinfect air and surfaces. UVGI is generally set at the UV wavelength of 253.7 nm (UV-C). In its mechanism, UVC radiation raised a particular interest because it induces a direct germicidal effect by causing the formation of cyclobutene pyrimidine dimers (CPDs), the main photoproducts in DNA. DNA damage can be repaired through enzymatic reactions, and the mechanism depends on the species of the microorganism, UV fluency, temperature, and physiological conditions. UVGI has been used as a support for mechanical ventilation to deactivate infectious agents in the air as a health protector for building occupants. UVGI is widely applied in the form of upper-room air application, in-duct application, HEPA-UV ceiling units, and portable fans with UVGI. The effectiveness of UV in air disinfection depends on the sensitivity of UV to the airborne microorganisms, the level of UV radiation, and the air volume exposed by UV. Disinfection with UV is considered effective in reducing microorganisms that cause health problems in humans. The aspects that affect the effectiveness of UVGI are the radiation level of radiation, the time span of radiation, room configuration, lamp placement, lamp life, air movement patterns, and air humidity levels.

ABSTRAK

Desinfeksi udara, air, dan permukaan telah menjadi perhatian publik dan semakin berkembang seiring dengan kemajuan teknologi. Desinfeksi dengan UV termasuk dalam perkembangan teknologi dan telah divalidasi karena kegunaannya dalam menonaktifkan patogen. Hal tersebut juga semakin meningkatkan jumlah produk desinfeksi UV yang beredar di pasaran. Artikel ini memberikan informasi mengenai penggunaan radiasi ultraviolet sebagai disinfektan. Dalam tulisan ini akan dibahas mengenai aplikasi penggunaan radiasi ultraviolet untuk desinfeksi udara, panjang gelombang UV, dosis UV yang dianjurkan, efektivitas penggunaan UV, dan pertimbangan keamanan terkait penggunaan radiasi UV pada desinfeksi udara. UV disinfection merupakan metode desinfeksi berbasis energi yang memanfaatkan dosis UV pada panjang gelombang tertentu yang dapat menonaktifkan mikroorganisme. Iradiasi UV secara tradisional dibagi menjadi empat wilayah yaitu UVA (315–400 nm), UVB

Proceedings of International Conference on Healthcare Facilities

Website: <http://thejournalish.com/ojs/index.php/ichf/index>

E-ISSN: 2776-9771

(280-315 nm), UVC (200-280 nm) dan UV vakum (VUV, 100-200 nm). Efek penyinaran UV pada mikroorganisme disebut "inaktivasi" dan bukan "membunuh/mematikan". Iradiasi kuman dengan ultraviolet (UVGI) didefinisikan sebagai penggunaan panjang gelombang sinar ultraviolet (UV) dalam kisaran kuman (200-320 nm) untuk desinfeksi udara dan permukaan. UVGI umumnya diatur pada panjang gelombang UV sebesar 253,7 nm (UV-C). Dalam mekanismenya, radiasi UVC menjadi perhatian khusus karena menginduksi efek germisidal langsung dengan menyebabkan pembentukan cyclobutane pyrimidine dimer (CPDs), fotoproduk utama dalam DNA. Kerusakan DNA dapat diperbaiki melalui reaksi enzimatik, dan mekanismenya tergantung pada spesies mikroorganisme, fluensi UV, suhu, dan keadaan fisiologis. UVGI telah digunakan sebagai pendukung untuk ventilasi mekanis dalam menonaktifkan agen infeksi di udara untuk melindungi kesehatan penghuni gedung. Aplikasi UVGI yang paling banyak digunakan adalah dalam bentuk perlengkapan upper-room air application, in-duct application, HEPA-UV ceiling units, dan portable fans with UVGI. Keefektifan UV dalam disinfeksi udara tergantung pada kepekaan UV terhadap mikroorganisme di udara, tingkat radiasi UV, dan volume udara yang disinari UV. Disinfeksi menggunakan UV dinilai efektif dalam mengurangi mikroorganisme penyebab masalah kesehatan pada manusia. Adapun aspek - aspek yang mempengaruhi keefektifan UVGI adalah tingkat radiasi, durasi radiasi, konfigurasi ruangan, penempatan lampu, umur lampu, pola pergerakan udara, dan tingkat kelembapan udara.

Article history

Received : February 27, 2021

Revised : March 19, 2021

Accepted : March 29, 2021

LATAR BELAKANG

Disinfeksi dan sterilisasi telah menjadi bagian dari kehidupan manusia selama beberapa dekade, sebagai sarana penting untuk memastikan kesejahteraan/kesehatan manusia, disinfeksi harus dijaga sepenuhnya dengan standar yang tinggi (Malik et al, 2017). Hal ini menjadi semakin penting ketika melibatkan perawatan kesehatan, dimana setiap upaya dilakukan untuk memastikan tercapainya level disinfeksi tertinggi. Disinfeksi UV telah menjadi teknologi tervalidasi untuk disinfeksi patogen pada permukaan, udara, dan air selama beberapa dekade (Kowalski, 2009). Meskipun teknologi disinfeksi konvensional lainnya telah banyak digunakan seperti contohnya ozon, klorin oksida, klorin dan asam perasetat; zat disinfeksi tersebut mengandung bahan kimia dan / atau melalui proses pembentukan produk. Disinfeksi UV dianggap ramah lingkungan sebagai pilihan pengobatan non-korosif yang bebas dari residu desinfektan dan produk sampingan disinfeksi (Liberti et al., 2003)

Dalam pandemic COVID-19 saat ini, disinfeksi udara dan permukaan menggunakan UV telah menarik minat banyak orang, juga meningkatkan jumlah produk disinfeksi UV di pasaran (Nat. Potonic, 2020). Berbagai macam tempat umum yang mempunyai level kontaminasi udara dan permukaan yang berbeda seperti rumah sakit dan fasilitas layanan kesehatan hingga restoran dan cafetaria, mulai menggunakan sistem disinfeksi permukaan berbasis UV. Penggunaan alat disinfeksi UVC secara luas juga dianjurkan untuk mengatasi persebaran virus setelah pembukaan kembali tempat-tempat umum (Abajo et al, 2020). Telah banyak sekali kemajuan yang tercipta sejak era awal dikenalnya disinfeksi, namun, pengelolaan disinfeksi yang buruk masih banyak terjadi di seluruh dunia sehingga menyebabkan jutaan kematian setiap tahunnya dan menghabiskan miliaran dollar untuk

menangani penyakit yang disebabkan oleh praktek disinfeksi yang buruk. (WHO, 2020). Selain itu, dikarenakan terbatasnya pengetahuan mayoritas masyarakat dan perusahaan produsen alat terkait aspek penting dari disinfeksi UV ini menggiring ke penggunaan teknologi yang tidak tepat. Sehingga klaim yang meragukan dan tidak berdasarkan fakta ilmiah dari beberapa perancang dan produsen system UV sayangnya telah tersebar luas (Raieszadeh & Adeli, 2020).

Artikel ini memberikan informasi mengenai penggunaan radiasi ultraviolet sebagai disinfektan. Dalam tulisan ini akan dibahas mengenai aplikasi penggunaan radiasi ultraviolet untuk disinfeksi udara, panjang gelombang UV, dosis UV yang dianjurkan, efektivitas penggunaan UV, dan pertimbangan keamanan terkait penggunaan radiasi UV pada disinfeksi udara.

TINJAUAN PUSTAKA

Disinfeksi UV merupakan proses berbasis energi, di mana rasio inaktivasi ditentukan oleh dosis UV yang diterapkan melalui unit disinfektan. Dosis UV (mJ/cm^2) dihitung dengan iradiasi atau laju fluensi yang dikirimkan ke sel mikroba (mW/cm^2) lalu dikalikan dengan waktu pemaparan (Bolton & Cotton, 2008a). Maka dari itu, untuk reaksi yang diinduksi UV, cara yang paling akurat untuk melaporkan data kinetik adalah dengan fungsi dosis UV, bukan waktu (Bolton et al, 2015). Disinfeksi udara dan permukaan yang terkena biokontaminasi dapat diasumsikan sebagai aplikasi radiasi UV yang lebih mudah dan dapat diprediksi dibandingkan dengan pengolahan air (Gora et al, 2019). Namun, untuk mencapai nilai inaktivasi yang valid misalnya 99,99% dengan disinfektor udara atau permukaan UV, ada beberapa faktor yang mempengaruhi, yang dapat dikelompokkan menjadi dua kategori yaitu karakteristik mikroba yang melekat dan karakteristik media target (Raieszadeh & Adeli, 2020; Ulfa et al, 2020).

Iradiasi UV secara tradisional dibagi menjadi empat wilayah yaitu UVA (315–400 nm), UVB (280–315 nm), UVC (200–280 nm) dan UV vakum (VUV, 100–200 nm) (Oppenländer, 2007; Vázquez & Hanslmeier, 2006). Secara konvensional, sinar UV dihasilkan dari lampu merkuri, termasuk lampu merkuri bertekanan rendah (LP) yang memancarkan sinar UV monokromatik pada panjang gelombang hampir 254 nm, dan lampu tekanan sedang (MP) yang memancarkan spektrum polikromatik dengan berbagai panjang gelombang (Bolton dan Cotton, 2008b). Namun, lampu UV merkuri dikemas dengan kaca yang rapuh. Lampu merkuri UV akan dengan mudah menyebabkan merkuri tumpah di lingkungan luar, melepaskan uap berbahaya ke udara selama berminggu-minggu bahkan bertahun-tahun. Dalam beberapa tahun terakhir, metode ramah lingkungan terbaru telah dikembangkan untuk menghasilkan sinar UV yaitu dioda pemancar cahaya UV (UV-LED).

LED secara komersial telah tersedia selama hampir 50 tahun dan memiliki aplikasi di beragam bidang, terutama di bidang pencahayaan, karena efisiensi yang semakin tinggi dan biaya yang lebih rendah (Ibrahim et al., 2014). Baru-baru ini, UV-LED yang baru muncul mengikuti jalur yang sama dan diharapkan dapat bertahan secara ekonomi di tahun-tahun mendatang (Harris et al., 2013). Light-emitting diode (LED) dengan emisi germicidal ultraviolet (UV), yang selanjutnya disebut UV-LED, adalah sumber radiasi UV yang muncul dan dapat membawa inovasi pada sistem disinfeksi dan sterilisasi. UV-LED bersifat bebas merkuri, berukuran kecil, fleksibel dalam desain reaktor, dan cepat menyala tanpa pemanasan (Ulfa et al, 2020).

UV LED adalah perangkat semikonduktor yang memanfaatkan bahan semi konduktor untuk membuat sambungan pena (lubang dan elektron). Elektron dan lubang akan bergabung kembali di persimpangan untuk memancarkan radiasi, dan panjang gelombang radiasi

bergantung pada bahan semi-konduktor (Ibrahim et al., 2014). UV LED pada berbagai panjang gelombang dapat diproduksi menggunakan bahan semikonduktor yang berbeda. Bahan yang paling sering digunakan adalah III-nitrida, termasuk galium nitrida (GaN), aluminium galium nitrida (AlGaN), dan aluminium nitrida (AlN) (Khan et al., 2005). Panjang gelombang UV-LED berbasis GaN bisa sesingkat 365 nm, yang berada di dekat wilayah UV (Taniyasu et al., 2006b). Namun, LED-UV AlN dilaporkan memancarkan radiasi UV pada 210 nm (UV dalam), yang merupakan panjang gelombang terpendek di antara semikonduktor (Taniyasu et al., 2006a). Panjang gelombang dari 210 hingga 365 nm (penutup dari daerah UV dalam hingga dekat UV) tersedia dari emisi AlGaN, yang terdiri dari AlN dan GaN dalam proporsi yang sesuai (Taniyasu dan Kasu, 2010). Panjang gelombang merupakan faktor penting untuk efisiensi desinfeksi air (Vilhunen et al., 2009). Kemampuan UV-LED untuk menawarkan berbagai panjang gelombang selaras dengan kebutuhan desinfeksi yang efisien menjadikannya pilihan potensial.

Mekanisme Disinfeksi UV

Efek penyinaran UV pada mikroorganisme disebut "inaktivasi" dan bukan "membunuh/mematikan". Mekanisme inaktivasi mikroorganisme oleh UV bergantung pada panjang gelombang iradiasi. Misalnya, penyerapan iradiasi UV oleh DNA menyebabkan inaktivasi mikroorganisme melalui perubahan fotokimia dengan mempengaruhi kemampuannya untuk bereplikasi (Dotson et al., 2012; Friedberg et al., 2005). Radiasi UVC menjadi perhatian khusus karena menginduksi efek germisidal langsung dengan menyebabkan pembentukan *Cyclobutane Pyrimidine Dimer* (CPDs), fotoproduk utama dalam DNA (Hamamoto et al., 2007). Lesi lain seperti 6-4 fotoproduk (sekitar 10% CPD) dan *Dewar isomers* juga terbentuk, tetapi dengan rasio yang jauh lebih rendah (Harm, 1980). Kerusakan DNA dapat diperbaiki melalui reaksi enzimatik, dan mekanismenya tergantung pada spesies mikroorganisme, fluensi UV (Zimmer dan Slawson, 2002), suhu (Salcedo et al., 2007), dan keadaan fisiologis. Dua mekanisme berbeda dibagi menjadi fotoreaktivasi dan perbaikan gelap yang tergantung pada ketersediaan cahaya (Süss et al., 2009). Selama fotoreaktivasi, enzim *photolyase* mengikat CPD dalam DNA dan menghasilkan pembalikan kerusakan dengan menggunakan energi cahaya (310-480 nm) (Oguma et al., 2001; Sinha dan Häder, 2002). Perbaikan gelap adalah proses multi-enzim yang melibatkan penggantian DNA yang rusak dengan nukleotida yang tidak rusak tanpa adanya cahaya. Perbaikan kerusakan DNA yang disebabkan oleh lampu merkuri konvensional sudah mapan dan lampu merkuri MP telah terbukti lebih unggul dari lampu merkuri LP untuk mengurangi perbaikan DNA (Oguma et al., 2002).

UVA menonaktifkan mikroorganisme dengan mendorong pembentukan spesies aktif dan memberikan kerusakan penuh pada bakteri, hal ini dapat menyebabkan kerusakan yang tidak dapat diperbaiki dalam sel (Chatterley dan Linden, 2010; Hamamoto et al., 2007). Hasil penelitian Ulfa et al (2020) yang menggunakan UVA-LED pada panjang gelombang 365 nm yang menginaktivasi *E. coli* dan Extended-spectrum β -lactamase (ESBL) - *E. coli* dari berbagai macam strain isolat pada manusia, ternak dan lingkungan menunjukkan bahwa inaktivasi *E.coli* dan ESBL-*E. coli* bergantung pada energi, dengan min 40 J/cm².

Reactive intermediates ini sebagian besar adalah *Reactive Oxygen Species* (ROS) yang diproduksi melalui foto oksidasi oksigen dan menyebabkan kerusakan oksidatif pada DNA, protein dan membran sel dan dapat menyebabkan keterlambatan pertumbuhan. *Singlet oxygen* (¹O₂) dan hydroxyl radical (HO•) adalah spesies oksidatif perusak utama yang dihasilkan (Petersen et al., 2000). Oleh karena itu, berbagai iradiasi UV dapat bermanfaat untuk mencapai kerusakan langsung dan tidak langsung pada mikroorganisme dan

meminimalkan efisiensi fotoreaktivasi. Misalnya, lampu UV merkuri bertekanan menengah polikromatik (MP) yang memancarkan UVA bersama dengan UVC dan UVB telah terbukti lebih unggul daripada lampu UV tekanan rendah monokromatik (LP) untuk mengendalikan fotoreaktivasi *Escherichia coli* (Oguma et al. , 2002; Zimmer dan Slawson, 2002).

Keefektifan radiasi terhadap inefektivitas virus dan asam nukleat virion telah didokumentasikan dengan baik, peningkatan UV lingkungan dapat menyebabkan peningkatan laju mutasi virus (Norval, 2006). Virus dapat bereplikasi bahkan dengan adanya mutasi yang diinduksi, tetapi efeknya pada gen virus dapat berbeda. Efek mematikan dari kerusakan asam nukleat yang diinduksi UV (DNA atau RNA) tergantung pada lokasi perubahan dalam genom virus. Selain itu, banyak mutasi yang tidak memiliki efek yang terlihat pada virus, karena mereka diperbaiki oleh mekanisme perbaikan asam nukleat inang. Mayoritas mutasi mengurangi infektivitas virus karena sebagian besar gen virus memiliki peran khusus. Namun, beberapa mutasi dapat menyebabkan evolusi virus yang lebih patogen. Misalnya, protein pengikat reseptor baru dapat disintesis di dalam struktur virus yang memungkinkan virus menginfeksi jenis sel yang berbeda dalam inang.

Ultraviolet Germicidal Irradiation (UVGI)

Iradiasi kuman dengan ultraviolet (UVGI) didefinisikan sebagai penggunaan panjang gelombang sinar ultraviolet (UV) dalam kisaran 200–320 nm untuk desinfeksi udara dan permukaan (Kowalski, 2010). UVGI memiliki masa depan yang pasti dalam pengendalian penyakit menular dan jika diterapkan secara luas, ini mungkin merupakan kunci untuk mengendalikan epidemi dan pandemi. Tidak ada teknologi lain saat ini yang memiliki kapabilitas, kemampuan beradaptasi, dan menguntungkan secara ekonomi yang layak untuk berbagai penerapan pengendalian penyakit yang sangat beragam (Kowalski, 2010). UVGI sudah digunakan secara luas dan efektif dalam penerapan desinfeksi air dan permukaan. UVGI dapat juga dikombinasikan dengan penyaringan udara, sehingga menjadi salah satu teknologi yang paling efektif dan ekonomis untuk mendisinfeksi udara. Pada penerapan untuk fasilitas perawatan kesehatan hingga sekolah dan lingkungan perumahan, UVGI adalah produk menjanjikan yang suatu hari dapat berkontribusi besar dalam pemberantasan banyak penyakit menular. Munculnya mikroba yang resisten terhadap berbagai obat seperti *Methicillin-resistant Staphylococcus aureus* (MRSA) dan XTB, dan patogen yang muncul seperti SARS dan *Avian Influenza* kemungkinan akan merangsang peningkatan penggunaan sistem UVGI dalam jumlah yang semakin luas. Kontribusi teknologi UV terhadap pengendalian epidemi dapat membuat kontrol epidemi dapat dianalisis melalui model statistik epidemiologi, yang telah menunjukkan potensi penggunaan sistem UVGI secara luas yang secara teoritis dapat menghentikan epidemi penyakit menular melalui udara (Kowalski 2006). Penelitian dan pengembangan yang berkelanjutan berpotensi membuat UVGI menjadi komponen standar sistem ventilasi di semua lingkungan dalam ruangan sehingga era epidemi yang ditularkan melalui udara dapat segera berakhir.

Disinfeksi Udara

UVGI telah digunakan sebagai pendukung untuk ventilasi mekanis dalam menonaktifkan agen infeksi di udara untuk melindungi kesehatan penghuni gedung. Instalasi *Upper-room* UVGI sering digunakan untuk menyediakan ACH (*Air Change Hour*) yang setara atau efektif (e-ACH) sesuai dengan rekomendasi dari *Centers for Disease Control and Prevention* (CDC) untuk *Airborne infection isolation room* (AIIR). Namun e-ACH tidak dapat diterima untuk memenuhi rekomendasi CDC sebagai pengendalian lingkungan yang utama terhadap *Mycobacterium tuberculosis*. UVGI umumnya diatur pada panjang gelombang UV

sebesar 253,7 nm (UV-C). Paparan sinar UV pada panjang gelombang ini merupakan metode yang praktis dan hemat biaya untuk menonaktifkan virus di udara juga mikroplasma, bakteri, dan jamur pada permukaan yang bersih

Upper-room air Application

Aplikasi UVGI yang paling banyak digunakan adalah dalam bentuk perlengkapan *upper-room* pasif berisi lampu UVGI yang menyediakan lapisan horizontal dari medan energi UV yang berada di atas zona yang ditempati. Perlengkapan ini dirancang untuk menonaktifkan bakteri yang memasuki zona iradiasi atas, dan keefektifannya sangat bergantung pada kondisi medan aliran udara di dalam ruangan (Memarzadeh, 2010). Probabilitas kelangsungan hidup bakteri yang terpapar radiasi UV tergantung pada kerentanan mikroorganisme target, dosis dan durasi UV-C yang terpapar (Mamahloti, 2019).

In-duct application

Penerapan *in-duct* UVGI mendisinfeksi mikroorganisme yang melewati sistem *Heating, ventilation, and air conditioning* (HVAC). Lampu UVGI biasanya berada di *air handling unit* (AHU) dekat dengan *coiling coil* atau bagian saluran *return* air. Efektifitas penerapan *in-duct* untuk menyingkirkan patogen melalui sistem UVGI tergantung pada waktu paparan partikulat hingga tingkat radiasi lampu UVGI. Kecepatan aliran udara adalah faktor utama yang mempengaruhi performa lampu UVGI karena berhubungan langsung dengan waktu paparan patogen terhadap iradiasi (Kujundzic et al, 2007). Oleh karena itu, radiasi terhadap kuman yang diberikan akan lebih efektif dalam menonaktifkan patogen di *air handling coils* daripada di saluran suplai karena waktu paparan yang lebih lama. Waktu instalasi UVGI dalam AHU menjadi penerapan paling populer karena beberapa alasan. Pertama, metode ini mendisinfeksi udara dalam jumlah besar di satu lokasi pusat, yang berarti pemeliharaan dan servis satu peralatan jauh lebih ekonomis daripada sistem desinfeksi ruangan individu. Kedua, aplikasi ini tidak menimbulkan risiko bagi penghuni ruang karena penyinaran UVGI diisolasi dalam sistem HVAC (Dreiling, 2008). Dalam studi tersebut, *in-duct* UVGI mengurangi konsentrasi virus lebih baik dari metode sebelumnya sedangkan hasil pengurangan bakteri berada di antara metode-metode penerapan lainnya. Oleh karena itu, penerapan sistem UVGI dengan intensitas yang lebih tinggi akan mempengaruhi hasil secara positif (W. J. Kowalski, 1997; Dreiling, 2008).

HEPA-UV ceiling units

Penerapan UVGI dalam mendisinfeksi udara juga digabungkan dengan HEPA-UV *ceiling units*. Perangkat ini terdiri dari perangkat filtrasi dengan efisiensi tinggi yang dipasangkan dengan lampu UVGI internal dan kipas suplai untuk meningkatkan sirkulasi udara ruangan melalui sistem. Lampu UVGI internal menonaktifkan patogen dengan dua cara yaitu pada saat mereka memindahkan patogen di udara melalui sistem (mirip dengan UVGI di AHU) dan saat mereka menjadi tidak bisa bergerak di permukaan filter (Kujundzic et al., 2005). Selain itu, dengan lampu UV yang diletakkan di dalam unit, tingkat penyinaran UVGI mungkin jauh lebih kuat daripada di UVGI *upper-room*. Keuntungan utama yang ditawarkan sistem ini adalah fleksibilitas dalam menempatkan unit di ruangan dengan langit-langit lebih rendah. Sementara aplikasi UVGI *upper-room* membutuhkan ketinggian langit-langit yang memadai untuk mencegah paparan terhadap penghuni, unit langit-langit HEPA-UV dapat dipasang di langit-langit yang lebih rendah dari 8 kaki tanpa potensi paparan (First et al, 1999). Efektivitas HEPA-UV *ceiling units* dibatasi oleh aliran dan pencampuran udara yang terjadi di dalam ruangan. Perangkat ini sangat rentan terhadap aliran udara pendek karena

lokasi yang dekat antar pasokan dan pengembalian (supply and return) dibandingkan dengan ukuran ruangan (Miller-Leiden et al, 1996). Namun, sistem ini menimbulkan pernyataan yang dapat diperdebatkan di antara peneliti seperti penggunaan filter HEPA dan UVGI di unit desinfeksi udara ruangan yang sama adalah mubazir, udara yang disaring dengan HEPA pada dasarnya steril dan tidak perlu disinari, dan udara yang didisinfeksi dengan UV tidak perlu disaring dengan HEPA, serta menyinari permukaan filter HEPA di perangkat desinfeksi udara ruangan tidak diperlukan dan sepertinya tidak membantu (Spengler et al, 2001,).

Portable fans with UVGI

Penerapan desinfeksi udara terakhir yang tersedia untuk fasilitas perawatan kesehatan adalah kipas portabel dengan UVGI. Kipas UVGI portabel meningkatkan fleksibilitas fasilitas perawatan kesehatan dalam menemukan mekanisme desinfeksi di lokasi yang paling berpotensi terkontaminasi. Unit-unit ini berisi lampu UV yang menangani patogen di udara ketika ditarik melalui sistem oleh sumber kipas. Efektivitas sistem sangat tergantung pada faktor ruangan serta teknik pengoperasian yang tepat. Menzies et al (2003) menyatakan "keefektifan unit filter udara portabel dapat berkurang jika tidak ditangani dengan tepat, salah penempatan di dalam ruangan, atau dalam "mematikannya".

Efektifitas UVGI

Beberapa penelitian terdahulu menunjukkan bahwa desinfeksi udara dengan UV dapat melindungi manusia dari efek buruk untuk kesehatan yang disebabkan oleh mikroorganisme dalam ruangan yang tersebar di udara. Keefektifan UV dalam desinfeksi udara tergantung pada kepekaan UV terhadap mikroorganisme di udara, tingkat radiasi UV, dan volume udara yang disinari UV. Penelitian eksperimental dan bahkan beberapa penerapan nyata, membuktikan bahwa teknologi ini dapat bekerja sangat efektif jika dirancang dan dipasang secara benar. Bagaimanapun juga, sejumlah variabel harus diperhitungkan sebelum menyimpulkan keefektifan UVGI secara keseluruhan. Penentu keefektifan UVGI terdiri dari tingkat radiasi, durasi radiasi, konfigurasi ruangan, penempatan lampu, umur lampu, pola pergerakan udara, dan tingkat kelembapan udara (*Centers for Disease Control and Prevention, 1994, 90*). Beberapa penentu dapat dikontrol oleh teknisi dan pemilik HVAC. Namun, faktor lain seperti pola pergerakan udara dan kelembapan udara lebih sulit untuk disimpulkan dampaknya dalam mempengaruhi keefektifan UVGI.

Sterilisasi didefinisikan sebagai perusakan total terhadap semua spesies mikroba. Sedangkan desinfeksi hanya mengurangi populasi mikroba (Kowalski & Bahnfleth, 2000). Untuk Sebagian besar penerapan UVGI yang melibatkan mikroorganisme di udara dan permukaan, desinfeksi adalah tingkatan cara yang paling memungkinkan. Oleh karena itu, produsen bertujuan untuk merancang system UVGI berdasarkan berbagai macam parameter untuk mencapai tingkat desinfeksi yang diinginkan, yakni antara 90% hingga 99,99%. Namun, tergantung pada variabel, keefektifan UVGI bervariasi pada mikroba yang berbeda. Karena sulit untuk memprediksi mikroorganisme mana yang akan muncul di fasilitas kesehatan, maka mikroba yang paling resistan yang harus dievaluasi. Salah satu patogen yang paling tahan terhadap UVGI adalah *Mycobacterium tuberculosis* (TB). Maka dari itu, TB sering digunakan sebagai referensi untuk menentukan syarat paparan UVGI dalam praktek penerapannya untuk mencegah transmisi udara di dalam ruangan (Riley & Nardell, 1989). Banyak studi kasus eksperimental yang sebelumnya telah dibentuk mengevaluasi sistem UVGI berdasarkan TB karena alasan ini. Kami mendemonstrasikan bahwa UVGI dapat menjadi tindakan pengendalian teknik yang efektif untuk mencegah penularan penyakit virus pernapasan. Hasil penelitian menunjukkan bahwa dosis yang diperlukan untuk inaktivasi yang signifikan dari

virus tertentu seperti *Adenovirus* mungkin lebih tinggi daripada yang dibutuhkan untuk aerosol bakteri. *Adenovirus* merupakan salah satu mikroorganisme yang paling resisten terhadap 254 nm UV-C (Walker and Ko, 2007).

Risiko UVGI Terhadap Manusia dan Benda

Kerugian instalasi UVGI di dalam ruangan adalah potensi akan pencahayaan radiasi UVGI yang berlebih terhadap pasien atau staf. Penghuni di dalam ruangan dapat terpapar oleh dosis UVGI yang lebih tinggi jika instalasi tidak dipasang dan ditempatkan dengan benar. Tenaga Kesehatan mendapat risiko lebih tinggi karena mereka berada di dalam ruangan lebih lama daripada kebanyakan pasien (Memarzadeh, 2010). Symptom pada penghuni ruangan yang terkena paparan UVGI berlebih biasanya terjadi pada area kulit dan mata seperti dermatosis or photokeratitis (Mamahodi, 2019). Penghuni di dalam ruangan dapat terpapar oleh dosis UVGI yang lebih tinggi jika instalasi tidak dipasang dan ditempatkan dengan benar. Tenaga Kesehatan mendapat risiko lebih tinggi karena mereka berada di dalam ruangan lebih lama daripada kebanyakan pasien. namun efek tersebut berlangsung sementara dan efek jangka panjang masih belum diketahui (Kujundzic et al., 2007).

Selain risiko terhadap penghuni, pencahayaan UVGI yang berlebih juga dapat menyebabkan kerusakan pada objek di ruangan tersebut. Pencahayaan UVGI berlebih juga memudarkan warna pada gambar, kain dan kertas, mempercepat kerusakan pada plastic sehingga penggunaan UVGI menjadi kurang sesuai di beberapa tempat seperti museum (Chen and O'keeffe, 2020). Ketika objek yang sensitive terhadap UV tidak dapat dipindahkan dari area iradiasi, maka dapat di tutup dengan kaca buram untuk melindunginya" (First et al, 1999).

Tingkat pemudaran dan kerusakan pada objek di dalam ruangan bersifat subjektif. Sumber lain menyatakan bahwa dikarenakan ketidakmampuan UVC untuk menembus objek secara dalam, maka hanya akan terjadi sedikit pemudaran. Kesadaran penghuni juga harus diarahkan pada penerapan UVGI pada AHUs dan saluran udara. Personil pemeliharaan akan mendapatkan paparan yang lebih tinggi walaupun waktu paparan sedikit karena mereka berada dekat dengan sumber UVGI. Maka Tindakan pencegahannya adalah dengan memastikan bahwa system UVGI mati dan pekerja servis memakai baju pakaian pelindung dan pelindung mata harus ditekankan untuk mencegah semua kemungkinan yang membahayakan pekerja (Dreiling, 2008)

KESIMPULAN

Pada dasarnya, disinfeksi menggunakan radiasi yang mengandung dosis UV untuk proses inaktivasi mikroorganisme yang juga bergantung pada mikroba pada objek dan karakteristik media target. Salah satu penerapan disinfeksi UV adalah melalui UVGI (*Ultraviolet Germicidal Irradiation*) yaitu disinfeksi menggunakan UV dengan panjang gelombang yang disesuaikan dengan kuman yaitu 200-320 nm untuk udara dan permukaan. Pada udara, panjang gelombang yang menjadi standar untuk menonaktifkan mikroorganisme adalah 253,7 nm (UV-C). Beberapa penerapan UVGI untuk disinfeksi udara adalah *Upper-room Air Application, In-duct Application, HEPA-UV ceiling units, dan Portable fans with UVGI*.

Mekanisme UV dalam mendisinfeksi adalah dengan menyebabkan fotokimia pada mikroorganisme sehingga mempengaruhi kemampuan bereplikasi dan mengakibatkan kerusakan total pada DNA sehingga tidak dapat diperbaiki lagi. Namun, efek UV terhadap DNA tergantung pada lokasi perubahan genom pada virus.

Disinfeksi menggunakan UV dinilai efektif dalam mengurangi mikroorganisme penyebab masalah kesehatan pada manusia namun, hal ini perlu dilihat dari berbagai variable

Proceedings of International Conference on Healthcare Facilities

Website: <http://thejournalish.com/ojs/index.php/ichf/index>

E-ISSN: 2776-9771

yang mempengaruhi keefektifan tersebut. Adapun aspek - aspek yang mempengaruhi keefektifan UVGI adalah tingkat radiasi, durasi radiasi, konfigurasi ruangan, penempatan lampu, umur lampu, pola pergerakan udara, dan tingkat kelembapan udara. Penggunaan UVGI juga mengakibatkan risiko yang cukup signifikan bagi orang-orang yang bersentuhan langsung dengan system ini. Radiasi UVGI yang berlebih juga dapat merusak objek dan permukaan tertentu yang sensitif terhadap UV sehingga dibutuhkan pelindung ketika UVGI mulai bekerja. Dampak kerugian lainnya juga seringkali terjadi pada pekerja bagian pemeliharaan, karena mereka bekerja dekat dengan sumber UVGI, maka dari itu disarankan untuk memakai pelindung tubuh dan mata ketika bekerja dekat dengan sistem.

REFERENCE

- Bolton, J. R., & Cotton, C. A. (2008a). Mechanism of UV disinfection. *The Ultraviolet Disinfection Handbook*, American Water Works Association, Denver, CO, 25-40.
- Bolton, J. R.; Cotton, C. A. , (2008b). *The Ultraviolet Disinfection Handbook*; American Water Works Association.
- Bolton, J. R.; Mayor-Smith, I.; Linden, K. G. Rethinking the Concepts of Fluence (UV Dose) and Fluence Rate: The Importance of Photon-Based Units - A Systemic Review. (2015). *Photochem. Photobiol.* 2015, 91, 1252.
- Centers for Disease Control and Prevention. (1994). Guidelines for preventing the transmission of *mycobacterium tuberculosis* in health-care facilities, 1994. *Morbidity and Mortality Weekly Report*, 43(RR-13).
- Chatterley, C., & Linden, K. (2010). Demonstration and evaluation of germicidal UV-LEDs for point-of-use water disinfection. *Journal of water and health*, 8(3), 479-486.
- Chen, T., & O'Keeffe, J. (2020). COVID-19 in indoor environments—Air and surface disinfection measures. Vancouver, BC.
- Dotson, A. D., Rodriguez, C. E., & Linden, K. G. (2012). UV disinfection implementation status in US water treatment plants. *Journal-American Water Works Association*, 104(5), E318-E324.
- Dreiling, J. B. (2008). An evaluation of ultraviolet germicidal irradiation (UVGI) technology in health care facilities.
- First, M. W., Nardell, E. A., Chaisson, W., & Riley, R. L. (1999). Guidelines for the application of upper-room ultraviolet germicidal irradiation for preventing transmission of airborne contagion--part I: Basic principles. *ASHRAE transactions* (105 (1) ed., pp. 869). Atlanta, GA: American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers, Inc.
- Friedberg, E. C., Walker, G. C., Siede, W., & Wood, R. D. (Eds.). (2005). *DNA repair and mutagenesis*. American Society for Microbiology Press.

The title of the article should be concise, interesting and describe the content of the article (Maximum of fifteen words, Font Avenir Next LT Pro, font 16, Justivy Ctrl+J)

Proceedings of International Conference on Healthcare Facilities

Website: <http://thejournalish.com/ojs/index.php/ichf/index>

E-ISSN: 2776-9771

- García de Abajo, F. J.; Hernández, R. J.; Kaminer, I.; Meyerhans, A.; Rosell-Llompart, J.; Sanchez-Elsner, T. Back to Normal: An Old Physics Route to Reduce SARS-CoV-2 Transmission in Indoor Spaces. *ACS Nano* 2020, 14, 7704.
- Gora, S. L.; Rauch, K. D.; Ontiveros, C. C.; Stoddart, A. K.; Gagnon, G. A. Inactivation of Biofilm-Bound *Pseudomonas Aeruginosa* Bacteria Using UVC Light Emitting Diodes (UVC LEDs). *Water Res.* 2019, 151, 193.
- Hamamoto, A., Mori, M., Takahashi, A., Nakano, M., Wakikawa, N., Akutagawa, M., ... & Kinouchi, Y. (2007). New water disinfection system using UVA light-emitting diodes. *Journal of applied microbiology*, 103(6), 2291-2298.
- Harm, W. (1980). *Biological effects of ultraviolet radiation*. United Kingdom: University Press
- Harris, T.R., Pagan, J. and Batoni, P., 2013. Optical and Fluidic Co-Design of a UV-LED Water Disinfection Chamber. *ECS Transactions*. 45(17), 11-18.
- Ibrahim, M.A.S.; Macadam, J.; Autin, O.; Jeferson, B. Evaluating the impact of LED bulb development on the economic viability of ultraviolet technology for disinfection. *Environ. Technol.* 2014, 35, 400-406.
- Khan, M. A., Shatalov, M., Maruska, H. P., Wang, H. M., & Kuokstis, E. (2005). III-nitride UV devices. *Japanese journal of applied physics*, 44(10R), 7191.
- Kowalski WJ. 2006. *Aerobiological Engineering Handbook: A Guide to Airborne Disease Control Technologies*. New York: McGraw-Hill.
- Kowalski, W. (2009). UVGI disinfection theory. In *Ultraviolet germicidal irradiation handbook* (pp. 17-50). Springer, Berlin, Heidelberg.
- Kowalski, W. (2010). *Ultraviolet germicidal irradiation handbook: UVGI for air and surface disinfection*. Springer science & business media.
- Kowalski, W. J. (1997). *Technologies for controlling respiratory disease transmission in indoor environments : Theoretical performance and economics*. Pennsylvania State University.
- Kowalski, W. J., & Bahnfleth, W. P. (2000). UVGI design basics for air and surface disinfection. *HPAC Heating, Piping, Air Conditioning*, 72(1).
- Kujundzic, E., Hernandez, M., & Miller, S. L. (2007). Ultraviolet germicidal irradiation inactivation of airborne fungal spores and bacteria in upper-room air and HVAC in-duct configurations. *Journal of Environmental Engineering and Science*, 6(1), 1-9.
- Kujundzic, E., Zander, D. A., Hernandez, M., Angenent, L. T., Henderson, D. E., & Miller, S. L. (2005). Effects of ceiling-mounted HEPA-UV air filters on airborne bacteria concentrations in an indoor therapy pool building. *Journal of the Air & Waste Management Association*, 55(2), 210-218.

Proceedings of International Conference on Healthcare Facilities

Website: <http://thejournalish.com/ojs/index.php/ichf/index>

E-ISSN: 2776-9771

- Liberti, L., Notarnicola, M., & Petruzzelli, D. (2003). Advanced treatment for municipal wastewater reuse in agriculture. UV disinfection: parasite removal and by-product formation. *Desalination*, 152(1-3), 315-324.
- Malik, S. A., Swee, T. T., Malek, N. A. N. N., & Abdul, M. R. Effects of Ultraviolet Light Emitting Diodes (UVA-Leds) Irradiation on Escherichia Coli for Inactivation of Microorganisms.
- Mamahloti, M. T. (2019). Potential benefits and harms of the use of UV radiation in transmission of tuberculosis in South African health facilities. *Journal of public health in Africa*, 10(1).
- Memarzadeh, F., Olmsted, R. N., & Bartley, J. M. (2010). Applications of ultraviolet germicidal irradiation disinfection in health care facilities: effective adjunct, but not stand-alone technology. *American journal of infection control*, 38(5), S13-S24.
- Menzies, D., Adhikari, N., Arietta, M., & Loo, V. (2003). Efficacy of environmental measures in reducing potentially infectious bioaerosols during sputum induction. *Infection control and hospital epidemiology*, 24(7), 483-489.
- Miller-Leiden, S., Lobascio, C., Macher, J. M., & Nazaroff, W. W. (1996). Effectiveness of in room air filtration for tuberculosis control in healthcare settings. *J Air Waste Manag Assoc*, 46, 869-82.
- Norval, M. (2006). The effect of ultraviolet radiation on human viral infections. *Photochemistry and photobiology*, 82(6), 1495-1504.
- Oguma, Y., Sesso, H. D., Paffenbarger, R. S., & Lee, I. M. (2002). Physical activity and all cause mortality in women: a review of the evidence. *British journal of sports medicine*, 36(3), 162-172.
- Oppenländer, T. (2007). Mercury-free sources of VUV/UV radiation: application of modern excimer lamps (excilamps) for water and air treatment. *Journal of Environmental Engineering and Science*, 6(3), 253-264.
- Raeiszadeh, M., & Adeli, B. (2020). A Critical Review on Ultraviolet Disinfection Systems against COVID-19 Outbreak: Applicability, Validation, and Safety Considerations. *ACS Photonics*, 7(11), 2941-2951.
- Riley, R., & Nardell, E. (1989). Clearing the air. *Am Rev Respir Dis*, 139, 1286-94.
- Salcedo, I., Andrade, J. A., Quiroga, J. M., & Nebot, E. (2007). Photoreactivation and dark repair in UV-treated microorganisms: effect of temperature. *Applied and Environmental Microbiology*, 73(5), 1594-1600.
- Nat. Photonics. Shining a Light on COVID-19. 2020, 14, 337.

The title of the article should be concise, interesting and describe the content of the article (Maximum of fifteen words, Font Avenir Next LT Pro, font 16, Justify Ctrl+J)

Proceedings of International Conference on Healthcare Facilities

Website: <http://thejournalish.com/ojs/index.php/ichf/index>

E-ISSN: 2776-9771

- Sinha, R. P., & Häder, D. P. (2002). UV-induced DNA damage and repair: a review. *Photochemical & Photobiological Sciences*, 1(4), 225-236.
- Spengler, J. D., Samet, J. M., & McCarthy, J. F. (2001). *Indoor air quality handbook*. McGraw-Hill Education.
- Süß, J., Volz, S., Obst, U., & Schwartz, T. (2009). Application of a molecular biology concept for the detection of DNA damage and repair during UV disinfection. *Water research*, 43(15), 3705-3716.
- Taniyasu, Y., & Kasu, M. (2010). Surface 210 nm light emission from an AlN p-n junction light-emitting diode enhanced by A-plane growth orientation. *Applied physics letters*, 96(22), 221110.
- Taniyasu, Y., Kasu, M. and Makimoto, T. (2006b). Aluminum Nitride Deep-ultraviolet Light-emitting Diodes. *NTT Technical Review*. 4(12), 54-58.
- Taniyasu, Y., Kasu, M., & Makimoto, T. (2006a). An aluminium nitride light-emitting diode with a wavelength of 210 nanometres. *nature*, 441(7091), 325-328.
- Ulfa M, Azuma M, Sato M, Shimohata T, Fukushima S, Kido J, Nakamoto M, Uebanso T, Mawatari K, Emoto T, Akutagawa M, Kinouchi Y, Takahashi A. Inactivation of Extended-spectrum β -lactamase (ESBL)-producing *Escherichia coli* by UVA-LED irradiation system. *J Med Invest*. 2020;67(1.2):163-169. doi: 10.2152/jmi.67.163. PMID: 32378601.
- Vázquez, M.; Hanslmeier, A. *Ultraviolet Radiation in the Solar System*. Springer; Dordrecht, The Netherlands: 2006.
- Vilhunen, S., Sarkka, H., Sillanpaa, M. (2009), "Ultraviolet light-emitting diodes in water disinfection", *Environmental Science and Pollution Research International*, Vol. 16, No. 4, pp. 439-442.
- Walker, C. M., & Ko, G. (2007). Effect of ultraviolet germicidal irradiation on viral aerosols. *Environmental science & technology*, 41(15), 5460-5465.
- World Health Organization. (2020). *Water, sanitation, hygiene, and waste management for the COVID-19 virus: interim guidance*, 23 April 2020 (No. WHO/2019-nCoV/IPC_WASH/2020.3). World Health Organization..
- Zimmer, J. L., & Slawson, R. M. (2002). Potential repair of *Escherichia coli* DNA following exposure to UV radiation from both medium-and low-pressure UV sources used in drinking water treatment. *Applied and environmental microbiology*, 68(7), 3293-3299.