

ALAT PENYINARAN GERMISID ULTRAUNGU (UVGI) JENIS C BERJAYA MEMBASMI PERTUMBUHAN DAN MENGHALANG PENYEBARAN PATOGEN MELALUI FOMIT

THE ULTRAVIOLET GERMICIDAL IRRADIATION (UVGI) TYPE C IRRADIATION DEVICE IS EFFECTIVE IN ERADICATING GROWTH AND PREVENTING THE TRANSMISSION OF PATHOGENS VIA FOMITES

Article history

Received
12 February 2024
Received in revised form
18 March 2024
Accepted
1 April 2024
Published Online
20 August 2024

*Corresponding author
noraziah.zin@ukm.edu.my

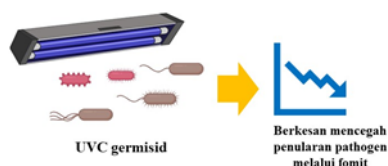
Noraziah Mohamad Zin^a, Mohd Amir Syaraffuddin Hashim^a, Naurah Mat Isa^b, Mohd Yusof Hamzah^b, Nur Faizah Abu Bakar^a, Asif Sukri^c

^aCenter of Diagnostics, Therapeutics & Investigations, Faculty of Health Sciences, Universiti Kebangsaan Malaysia, 50300 Kuala Lumpur, Malaysia

^bRadiation Processing Technology Division, Malaysian Nuclear Agency, Bangi, 43000 Kajang, Selangor Darul Ehsan, Malaysia

^cDepartment of Biological Sciences and Biotechnology, Faculty of Science and Technology, Universiti Kebangsaan Malaysia, 43600 Bangi, Selangor Darul Ehsan, Malaysia

Graphical abstract



Abstrak

Jangkitan perolehan hospital atau jangkitan nosokomial yang disebabkan oleh patogen ESKAPE (*Enterococcus faecium*, *Staphylococcus aureus*, *Klebsiella pneumoniae*, *Acinetobacter baumannii*, *Pseudomonas aeruginosa*, dan *Enterobacter* sp.) yang bersifat rintang terhadap pelbagai jenis antibiotik sangat membimbangkan. Salah satu punca jangkitan ini adalah penyebaran bakteria melalui pelbagai jenis fomit kepada pesakit atau petugas di premis penjagaan kesihatan. Oleh itu, adalah penting untuk membasmi pertumbuhan patogen ESKAPE pada permukaan fomit. Pembasmian patogen boleh dilaksanakan dengan menggunakan kaedah sinaran UV jenis C (UVC). Dalam kajian ini, beberapa sampel fomit (kain, kertas, kulit, dan plastik) telah dicemar dengan patogen ESKAPE dan kemudiannya disinakan dengan lampu UVC menggunakan peranti LembayUVng[®]. Keberkesanan proses nyahkuman ini seterusnya dinilai secara kuantitatif dengan membandingkan pertumbuhan bakteria pada sampel-sampel fomit sebelum dan selepas penyinaran. Keputusan kajian menunjukkan bahawa kaedah ini telah berjaya menghalang pertumbuhan patogen ESKAPE dengan purata keberkesanan sebanyak 90-100% terhadap strain bakteria yang berbeza. Kajian ini juga menyediakan maklumat berharga untuk memilih kaedah kawalan jangkitan patogen yang efektif pada permukaan fomit.

Kata kunci: ESKAPE, fomit, sinaran UVC, dekontaminasi

Abstract

The emergence of hospital-acquired or nosocomial infection caused by ESKAPE pathogens (*Enterococcus faecium*, *Staphylococcus aureus*, *Klebsiella pneumoniae*, *Acinetobacter baumannii*, *Pseudomonas aeruginosa*, and *Enterobacter sp.*) that are resistant to antibiotics poses public healthcare concern. Transmission of the pathogens to patients and healthcare workers can occur through various types of fomites. Pathogens can be eradicated by using UV radiation type C (UVC). In this work, several fomite samples (cloth, paper, skin, and plastic) have been contaminated with pathogens. They were then irradiated with UVC using LembayUVng®. The effectiveness was quantitatively evaluated by comparing the bacterial growth on the fomite samples before and after irradiation. The results show that UVC radiation has 90-100% average efficiency in pathogen eradication against several different strains. This study provides valuable information on selection of effective method for infection control.

Keywords: ESKAPE, fomite, UVC irradiation, decontamination

© 2024 Penerbit UTM Press. All rights reserved

1.0 PENGENALAN

Jangkitan perolehan hospital (HAI) atau nosokomial telah mencetuskan kebimbangan dalam sistem penjagaan kesihatan di seluruh dunia. Secara definisi, ia adalah jangkitan yang muncul selepas 48 jam kemasukan pesakit dan di dalam 30 hari selepas dikeluarkan dari hospital [1]. Jangkitan ini telah menjejaskan berjuta-juta pesakit setiap tahun kerana ia memberi kesan kepada keberadaan pesakit di hospital yang berpanjangan, peningkatan kadar morbiditi dan kematian, serta kos penjagaan kesihatan yang tinggi [1]. Jangkitan ini boleh disebabkan oleh pelbagai patogen termasuk bakteria, virus, kulat, dan parasit yang sering menyasarkan pesakit yang mempunyai sistem imun yang rendah dan terjejas serta mereka yang menjalani prosedur dan pembedahan invasif [2].

Di peringkat dunia, jangkitan ini telah menjadi beban yang besar kepada sistem penjagaan kesihatan dengan anggaran 0.14% pesakit yang dimasukkan ke hospital akan mendapat jangkitan ini semasa berada di hospital [3]. Ia juga telah menjadi cabaran penting dalam sistem penjagaan kesihatan dengan kemunculan patogen ESKAPE yang rintang terhadap pelbagai antibiotik yang menjadi penyumbang utama kepada jangkitan ini [4,5].

Penyebaran patogen ESKAPE di persekitaran fasiliti kesihatan bukan sahaja menimbulkan risiko kepada pesakit malah juga kepada pekerja kesihatan. Walaupun penularan daripada seseorang kepada seseorang yang lain adalah laluan biasa bagi penyebaran patogen ini, peranan fomit di persekitaran premis penjagaan kesihatan sebagai punca penyebaran patogen ini juga semakin ketara [6]. Fomit ialah objek atau permukaan tidak bernyawa yang boleh tercemar dengan agen berjangkit termasuk bakteria, virus, kulat dan parasit. Objek atau permukaan ini boleh berfungsi sebagai vektor yang berpotensi untuk penyebaran patogen

kepada individu yang bersentuhan dengannya [7]. Permukaan di persekitaran fasiliti kesihatan seperti tombol pintu, rangka katil, peralatan perubatan, papan kekunci komputer dan meja kaunter sering terdedah kepada penyebaran patogen ESKAPE. Secara umumnya, pemindahan patogen daripada fomit kepada manusia berlaku secara sentuhan tidak langsung, contohnya apabila seseorang itu menyentuh permukaan yang tercemar dan kemudian menyentuh anggota badan akan membolehkan patogen tersebut untuk masuk ke dalam badan [6].

Kaedah piawai untuk pensterilan sama ada bahan ujikaji atau peralatan di makmal dan hospital adalah menggunakan autoklaf manakala pensterilan permukaan menggunakan larutan alcohol 70%. Kaedah ini mengambil masa yang lama (sekurang-kurangnya 30 min untuk autoklaf) dan terdapat bahan yang sensitif kepada alkohol (rosak atau tidak berfungsi) dan menyebabkan ianya tidak sesuai dalam keadaan tertentu. Teknologi penyinaran ultraungu jenis C (UVC) telah mendapat perhatian sebagai salah satu kaedah yang berpotensi untuk mengurangkan penyebaran patogen ESKAPE pada fomit kerana jangkamasa pensterilan yang singkat diperlukan serta sesuai untuk semua jenis bahan kerana ianya tidak melibatkan bahan kimia. Penggunaan kaedah ini mampu meningkatkan keberkesanan dalam amalan pembersihan dan pembasmian kuman semasa dalam membantu melaksanakan strategi kawalan jangkitan yang komprehensif. Kajian lepas menunjukkan keberkesanan teknologi UVC dalam membasmi patogen ESKAPE dan dari sampel persekitaran [8-10].

Dalam kajian ini, beberapa sampel fomit (kain, kertas, kulit, dan plastik) telah dicemar dengan patogen ESKAPE dan telah disinarkan dengan UVC menggunakan peranti LembayUVng®. Keberkesanannya telah dinilai secara kuantitatif

dengan membandingkan pertumbuhan bakteria pada sampel-sampel fomit sebelum dan selepas penyinaran.

2.0 BAHAN DAN KAEDAH

2.1 Kultur Bakteria

Kultur bakteria ESKAPE telah dijalankan menggunakan prosedur lepas [11]. Bakteria yang digunakan dalam kajian ini adalah *Escherichia coli*, *Staphylococcus aureus*, *Klebsiella pneumoniae*, *Acinetobacter baumannii*, dan *Pseudomonas aeruginosa*. *E. coli* dan *K. pneumoniae* merupakan pencilan jenis "extended spectrum beta lactamase" dipencilkan daripada sampel klinikal. *S. aureus* rintang Methicillin (MRSA) dan *P. aeruginosa* diperolehi daripada American Type Culture Collection (ATCC) yang masing-masing bernombor ATCC 33591 dan ATCC 27853. Strain *A. baumannii* merupakan strain rintang Carbapenem yang dipencilkan daripada sampel klinikal. Kesemua strain bakteria dikultur pada agar nutrien dan kemudian satu koloni diambil dan dimasukkan ke dalam kaldu nutrien untuk diheram pada 37°C selama 24 jam.

2.2 Peti Nyahkuman LembayUVng®

Peti nyahkuman LembayUVng® merupakan peranti yang dibangunkan oleh Agensi Nuklear Malaysia melalui penyelidikan dan inovasi bagi mengekang penularan jangkitan Covid-19. Peti ini dilengkapi dengan sinaran UV jenis C (UVC) dengan panjang gelombang 254 nm untuk tujuan nyahkuman patogen berbahaya dalam tempoh sepantas 3 hingga 9 minit. Dalam kajian ini, peti LembayUVng® digunakan untuk mengesahkan keberkesanan nyahkuman patogen ESKAPE yang sering menyebabkan jangkitan di hospital. Peti ini dengan panjang gelombang yang sama yang telah ditunjukkan untuk menyahkuman virus SARS-CoV-2 telah digunakan dalam kajian ini untuk menentukan sama ada ia boleh digunakan untuk nyahkuman patogen ESKAPE. Dengan keluasan isipadu kebuk sekitar 13 L, peti ini boleh memuatkan objek berdimensi 28 cm (panjang) dan 21 cm (lebar) semasa proses nyahkuman. Peranti ini direka untuk memberi keamatan sinaran UVC dari pelbagai arah dengan keamatan minimum 2700 μ W/cm² pada aras pemegang objek. Penyinaran selama 3, 6 dan 9 minit masing-masing mampu memberi kesan dos sinaran sekitar 0.5, 1.0 dan 1.5 J/cm² bagi sekali proses.

2.3 Ujian Kebolehhidupan Bakteria Pada Agar Nutrien Terhadap Pendedahan Sinaran UVC Secara Tidak Langsung dan Langsung

Ujian dilakukan dengan mengikut protokol makmal standard AATCC 100-2014 yang diubahsuai [12]. Kepekatan inokulum piawai bakteria ditentukan dengan menggunakan spektrofotometer pada jarak gelombang 625 nm disetarakan kepada nilai

ketumpatan iaitu 0.08-0.1 untuk menghasilkan kepekatan bakteria 10⁸ CFU/mL [12]. Pencairan bersiri dilakukan sehingga pencairan 10⁻³. Dari setiap tiub pencairan tersebut, 10 μ L inokulum bakteria diinokulasi ke atas agar nutrien menggunakan kaedah piring sebaran. Setiap kultur tersebut didedahkan secara tidak langsung kepada sinaran UVC pada tempoh masa 3 minit, 6 minit, dan 9 minit dengan media agar nutrien diterbalikkan bersama penutup. Kultur yang tidak didedahkan kepada sinaran UVC ditanda dengan 0 minit sebagai kawalan ujian. Kemudian, kesemua kultur agar nutrien diheram pada suhu 37 °C selama 24 jam dan diikuti dengan penghitungan koloni (CFU/mL). Untuk ujian kebolehhidupan bakteria pada agar nutrien terhadap pendedahan sinaran UVC secara langsung, setiap kultur didedahkan kepada sinaran UVC pada tempoh masa 3 minit, 6 minit, dan 9 minit secara langsung dengan keseluruhan permukaan agar nutrien didedahkan tanpa penutup. Kultur yang tidak didedahkan kepada sinaran UVC ditanda dengan 0 minit sebagai kawalan ujian. Kemudian, kesemua kultur agar nutrien diheram pada suhu 37 °C selama 24 jam dan diikuti dengan penghitungan koloni (CFU/mL).

2.4 Ujian Kebolehhidupan Bakteria Pada Fomit Terhadap Sinaran UVC

Ujian dilakukan dengan mengikut protokol makmal standard ASTM E2149 yang diubahsuai [13]. Helaian fomit ujian dipotong kepada saiz 20 mm x 20 mm. Kesepadanan keping fomit berukuran 20mm x 20mm yang digunakan dalam kajian kami mungkin tidak sepenuhnya mewakili saiz sebenar fomit di dalam persekitaran hospital. Walaubagaimanapun, protokol ini digunakan berdasarkan ISO 18184:2019 dengan sedikit modifikasi [12]. Fomit di hospital mempunyai pelbagai saiz. Walau bagaimanapun, saiz fomit yang digunakan dalam kajian kami adalah model yang sempurna yang boleh digunakan di dalam makmal kerana ia telah dipiawaikan dan mudah dikawal semasa eksperimen. Walaupun saiz yang tepat mungkin tidak sepadan dengan yang dijumpai di hospital, dapatan masih boleh memberikan pandangan yang berharga mengenai penularan dan ketekalan patogen di atas permukaan fomit. Sebanyak 200 μ L inokulum yang telah disetarakan kepada kepekatan bakteria 10⁸ CFU/mL diinokulasi ke atas permukaan fomit ujian dan diheram pada suhu 37 °C selama 4 jam. Kemudian, fomit ujian tersebut didedahkan secara langsung kepada sinaran UVC pada tempoh masa 3 minit, 6 minit, dan 9 minit. Fomit ujian yang tidak didedahkan kepada sinaran UVC dijadikan sebagai kawalan ujian. Seterusnya, fomit ujian direndam ke dalam tiub pengempas yang berisi 20 mL 0.85% larutan normal salin dan divorteks bagi mengampai bakteria yang terdapat pada fomit. Pencairan bersiri dilakukan sehingga pencairan 10⁻³. Dari setiap tiub pencairan tersebut, 10 μ L inokulum bakteria diinokulasi ke atas agar nutrien

menggunakan kaedah piring sebaran. Kesemua kultur agar nutrien dieram pada suhu 37 °C selama 24 jam dan diikuti dengan penghitungan koloni (CFU/mL).

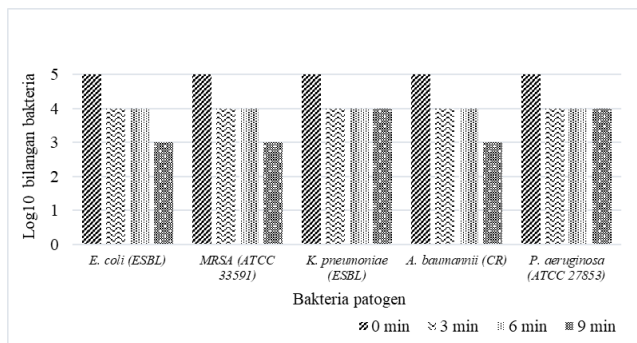
2.5 Analisis Data

Analisis data daripada unit koloni tumbuh (CFU/mL) dikira untuk semua sampel ujian menggunakan peratusan pengurangan di mana bilangan pertumbuhan bakteria pada agar nutrien dan fomit ujian dibandingkan dengan bilangan pertumbuhan bakteria daripada sampel kawalan negatif. Selain itu, pengurangan \log_{10} juga digunakan untuk menggambarkan keberkesanan penyinaran UVC. Istilah " \log_{10} " ditakrifkan sebagai kuasa 10 yang mesti dinaikkan bagi menjana sesuatu nombor tertentu. Secara amnya, pengurangan 1 \log_{10} sepadan dengan peratusan pengurangan sebanyak 90%, pengurangan 2 \log_{10} kepada pengurangan 99% dan seterusnya [14].

3.0 HASIL DAN PERBINCANGAN

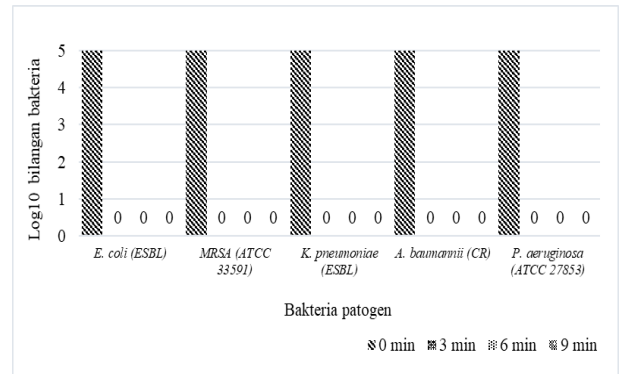
Tempoh masa pendedahan sinaran UVC yang digunakan dalam ujian kebolehhidupan bakteria pada agar nutrien tertutup (sinaran tidak langsung) ialah 3 minit, 6 minit, dan 9 minit. Ini bertujuan untuk menentukan masa dekontaminasi yang optimum menggunakan sinaran UVC untuk mencapai sekurang-kurangnya penurunan 4 \log_{10} (99.99%) bilangan bakteria berbanding kawalan negatif. Jenis pendedahan kepada permukaan media agar nutrien juga diuji bagi menentukan kesan penyinaran UVC yang paling efektif.

Ujian kebolehhidupan bakteria pada agar nutrien terhadap sinaran UVC secara tidak langsung menunjukkan pengurangan bilangan bakteria sebanyak 1 \log_{10} bersamaan 90% dicatatkan bagi kesemua bakteria pada 3 minit dan 6 minit tempoh pendedahan sinaran UVC. Pada minit ke-9, extended-spectrum beta lactamase (ESBL) *E. coli* (*E. coli*), MRSA ATCC 33591 dan rintang carbapenem (CR) *A. baumannii* mencatatkan pengurangan kepada 2 \log_{10} (99%) manakala bagi *K. pneumoniae* (ESBL) dan *P. aeruginosa* ATCC 27853 mencatatkan pengurangan 1 \log_{10} bersamaan 90%.



Rajah 1 Log₁₀ bilangan bakteria pada agar nutrien terhadap sinaran UVC secara tidak langsung

Ujian kebolehhidupan bakteria pada agar nutrien tanpa penutup terhadap sinaran UVC secara langsung dijalankan bagi menguji kesan dekontaminasi sinaran UVC. Ujian ini menunjukkan pengurangan bilangan bakteria yang ketara berbanding penyinaran UVC secara tidak langsung. Pengurangan sebanyak 5 \log_{10} bersamaan 99.999-100% direkodkan bagi kesemua bakteria pada kesemua tempoh masa pendedahan.



Rajah 2 Log₁₀ bilangan bakteria pada agar nutrien terhadap sinaran UVC secara langsung. 0 pada graf menunjukkan bahawa tiada koloni bakteria yang didapati selepas didedahkan kepada sinar UVC

Bertepatan dengan hasil kajian yang dijalankan oleh Matak et al. [15], pembasmian kuman dengan kaedah sinaran UV bergantung kepada pendedahan terus terhadap kuman tetapi apabila digunakan pada permukaan yang legap dan tidak rata, ia akan memberikan kesan pembasmian yang tidak efektif. Sebagai contoh, piring petri agar nutrien yang diperbuat daripada bahan plastik seperti polistirena atau polipropilena mempunyai indeks biasanya tersendiri dan apabila sinaran UV melaluinya, ia boleh mengalami pembiasan. Tahap pembiasan berbeza berdasarkan matriks dan komposisi sesuatu bahan serta panjang jarak gelombang sinaran UV yang didedahkan kepada sesuatu permukaan [16].

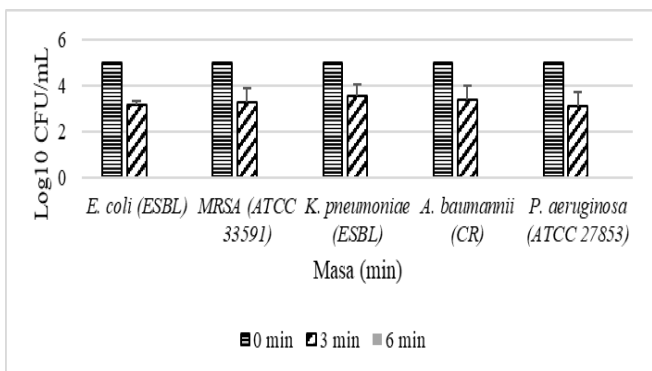
Sinaran UVC boleh menyahaktifkan mikroorganisma dengan pembentukan dimer pirimidin dalam RNA dan DNA yang boleh mengganggu transkripsi dan replikasi protein [17]. Selain itu, kerintangan bakteria kepada sinaran UVC adalah berdasarkan beberapa faktor seperti kepatogenan dan kevirulenan yang terdapat pada patogen ESKAPE yang membawa kepada perubahan sel dinding, keupayaan membentuk biofilm dan pengubahsuaian kepada morfologi dan fisiologi sel bakteria [4]. Pada ujian penyinaran UVC secara tidak langsung, peratusan pengurangan *K. pneumoniae* dan *P. aeruginosa* tidak menunjukkan perubahan pada ujian penyinaran UVC secara tidak langsung dan kekal pada peratusan 90% bagi ketiga-tiga tempoh masa pendedahan.

Kedua-dua patogen ini mempertahankan diri dengan membentuk kapsul yang meningkatkan kerintangan terhadap sinaran UVC [18,19]. Kapsul ialah sejenis struktur permukaan bahan polimerik ekstrasel (EPS) yang terdiri daripada polisakarida dan penting untuk pembentukan biofilm sebagai perlindungan fizikal terutamanya dalam penciliaan bakteria yang rintang terhadap pelbagai antibiotik [20]. Kapsul tebal yang mengelilingi sel bakteria boleh menyerap atau menyebarkan sinaran UVC seterusnya mengurangkan kesan kerosakan kepada bahan genetik sel bakteria [21].

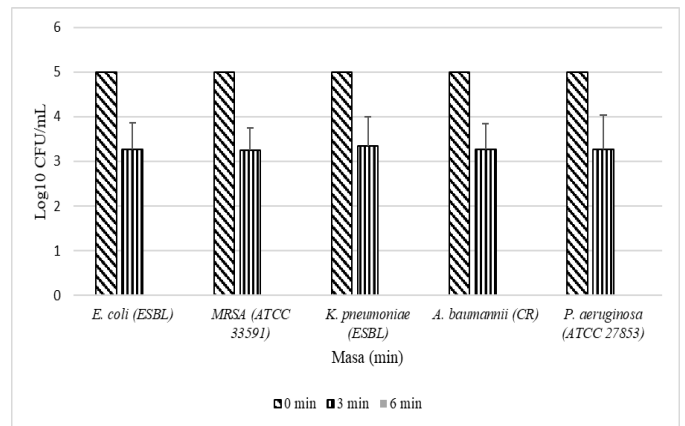
Penyinaran UVC secara langsung terhadap pertumbuhan semua bakteria patogen telah menunjukkan kesan dekontaminasi yang efektif seawal 3 minit. Sinaran UVC mempunyai keupayaan untuk menembusi bahan tertentu termasuk bahan lutsinar seperti kaca, plastik dan air. Ia juga bergantung kepada komposisi dan ketebalan khusus bahan-bahan tersebut [22]. Walaubagaimanapun, tahap keberkesanan kaedah pensterilan ini bergantung kepada pelbagai faktor termasuk dos dan jarak dari sumber UVC, masa pendedahan serta kehadiran sebarang halangan yang boleh menyekat atau melemahkan sinaran UVC.

3.1 Ujian Kebolehidupan Bakteria Pada Fomit Terhadap Sinaran UVC

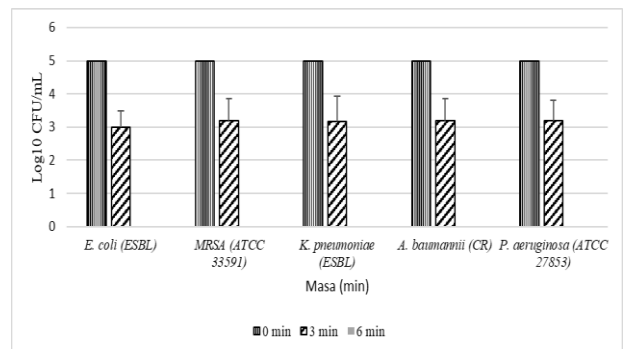
Sebanyak tiga jenis fomit yang diuji iaitu kain (baju makmal), kertas (nota pesakit) dan kulit (tali jam tangan). Fomit ujian didedahkan kepada sinaran UVC pada tempoh masa 3 dan 6 minit. Kesemua bakteria patogen iaitu *E. coli* (ESBL), MRSA ATCC 33591, *K. pneumoniae* (ESBL), *A. baumannii* (CR) dan *P. aeruginosa* ATCC 27853 mencatatkan 2 log pengurangan (99%) pada minit ke-3 dan 5 log pengurangan (99.999-100%) pada minit ke-6. Tempoh masa pendedahan 9 minit tidak dilakukan kerana tiada pertumbuhan koloni bakteria patogen yang dicerap pada minit ke-6. Ini menandakan proses dekontaminasi sepenuhnya bakteria patogen pada semua jenis fomit berlaku pada tempoh masa pendedahan 6 minit (Rajah 3 – Rajah 5).



Rajah 3 Log₁₀ bilangan bakteria pada fomit kain terhadap sinaran UVC

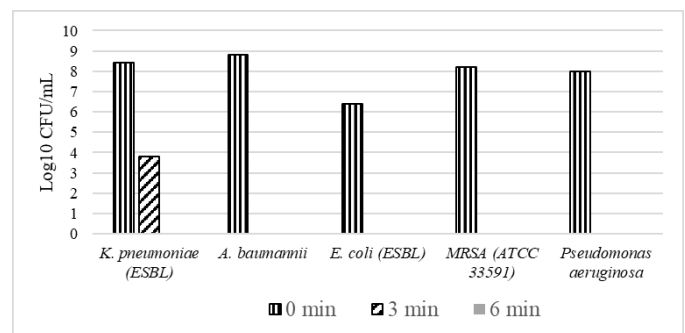


Rajah 4 Log₁₀ bilangan bakteria pada fomit kertas terhadap sinaran UVC



Rajah 5 Log₁₀ bilangan bakteria pada fomit kulit terhadap sinaran UVC

Selain itu, sinaran UVC turut didedahkan kepada plastik yang telah tercemar dengan *E. coli* (ESBL), MRSA ATCC 33591, *K. pneumoniae* (ESBL), *A. baumannii* (CR) dan *P. aeruginosa* ATCC 27853 dengan hasil menunjukkan bahawa terdapat pengurangan kesemua bakteria lebih 5 log pada masa 6 minit (Rajah 6).



Rajah 6 Log₁₀ bilangan bakteria pada fomit plastik terhadap sinaran UVC. Tiada koloni bakteria diperhatikan untuk masa 3 dan 6 minit bagi *A. baumannii*, *E. coli*, MRSA, dan *P. aeruginosa*

Pensterilan menggunakan kaedah UVC mampu membasmi transmisi fomit oleh patogen ESKAPE dengan berkesan. Penyinaran UVC bertindak dengan merosakkan asid nukleik mikroorganisma termasuk patogen ESKAPE yang membawa kepada kemusnahan dan ketidakupayaan untuk mereplikasi. Proses ini secara berkesan membunuh patogen dan menghalang penghantarannya melalui permukaan yang tercemar. Beberapa kajian telah menunjukkan keberkesanan penyinaran UVC dalam mengurangkan penghantaran patogen ESKAPE. Sebagai contoh, kajian oleh Boyce et al. [23] mendapati bahawa pembasmian kuman UVC dengan ketara mengurangkan pencemaran permukaan dengan MRSA, VRE (*Enterococcus* rintang Vancomycin), dan *C. difficile* dalam bilik hospital. Pembasmian bakteria dengan penyinaran UVC telah mengurangkan pencemaran alam sekitar serta permukaan dengan organisma rintang pelbagai ubat termasuk patogen ESKAPE [24].

Ciri-ciri fomit ujian yang diuji memiliki komposisi dan matriksnya yang tersendiri. Hal ini boleh mempengaruhi kesan pensterilan UVGI. Kajian lepas yang menilai keberkesanan rawatan UVGI pada fomit yang berbeza mendapati bahawa pengurangan log virus influenza berbeza bergantung kepada jenis fomit [25]. Keupayaan sinaran UV untuk menembusi permukaan bergantung kepada kememancaran cahaya sesuatu bahan. Cecair dengan kememancaran cahaya yang tinggi boleh dirawat dengan berkesan menggunakan sinaran UV manakala cecair dengan kememancaran cahaya yang rendah, disebabkan oleh bahan, zarah atau sebatian organik, mungkin menimbulkan halangan untuk menerima kesan penyinaran UV [26].

Keberkesanan pensterilan samada menggunakan UVC atau sinaran gamma juga dipengaruhi oleh dos dan masa pendedahan sinaran UVC. Mikroorganisma yang berbeza mungkin memerlukan dos sinaran UV yang berbeza untuk pensterilan yang berkesan [27,28]. Sesetengah mikroorganisma mungkin mempunyai mekanisme untuk membaiki kerosakan yang disebabkan oleh sinaran UV seperti pembalikan terus kerosakan kesan dari reaksi fotokimia, penyingkiran lesi oleh glikosilase DNA, dan membaiki eksisi nukleotida. Selepas terdedah kepada sinaran UV, lesi DNA pada bakteria berlaku. Terdapat dua cara bagaimana bakteria membaiki DNA yang telah rosak akibat pendedahan kepada sinaran UV iaitu pemfotoreaktifan yang melibatkan pembaikan dimer pirimidina menggunakan enzim photolyase di bawah sinar ultraungu dekat dan pembaikan pematangan yang tidak melibatkan photolyase dan cahaya. Strain bakteria dengan mekanisme pembaikan dimer yang lebih berkesan mungkin mempunyai peratusan pengurangan yang lebih rendah selepas pendedahan kepada cahaya UV [29]. Selain itu, jenis dan keamatan lampu UV yang digunakan juga boleh menjejaskan keberkesanan pensterilan UV atau UVC. Faktor-faktor seperti panjang gelombang dan pancaran lampu UV boleh

memberi kesan kepada sifat pembunuhan mikrob. Selain aplikasi ke atas fomit, kajian ini juga berpotensi untuk diaplikasikan kepada bunga dan buah yang dibawa oleh pelawat ke hospital. Kajian terdahulu yang dijalankan oleh Adhikari et al. [30] menunjukkan bahawa cahaya UV-C dapat mengurangkan kepekatan bakteria patogen yang bertanggungjawab terhadap keracunan makanan, termasuk *Escherichia coli* dan *Listeria monocytogenes*, pada buah-buahan seperti beri, strawberi, dan epal. Secara keseluruhannya, keberkesanan pensterilan UVC dipengaruhi oleh bahan yang dirawat, ciri-ciri cahaya UV, dan mekanisme rintangan mikroorganisma yang didasarkan [16].

Kajian ini juga mempunyai dua kekangan. Kekangan pertama adalah alat ini hanya diuji kepada patogen ESKAPE dan virus Influenza A dan B [31]. Oleh itu, kajian lanjutan perlu diuji kepada patogen virus dan bakteria lain. Kekangan kedua kajian ini adalah keupayaan bakteria untuk membentuk biofilem di atas fomit adalah tidak diuji. Pembentukan biofilem adalah penting untuk bakteria bertahan di atas permukaan fomit. Oleh itu, kajian lanjut perlu dijalankan.

4.0 KESIMPULAN

Pendedahan kepada sinaran UVC secara langsung terhadap patogen dalam kajian ini telah menghasilkan kesan dekontaminasi yang efektif dengan pengurangan bakteria sebanyak 99.999-100% yang berlaku seawal 3 minit tempoh pendedahan. Selain itu, kesan dekontaminasi setiap patogen pada ketiga-tiga jenis fomit ujian menunjukkan keupayaan penyinaran UVC adalah sama walaupun diuji pada jenis komposisi dan matriks bahan yang berbeza. Hasil kajian ini dapat diaplikasikan dalam persekitaran hospital sebagai langkah untuk mencegah penyebaran patogen berbahaya kepada pesakit.

Penghargaan

Kajian ini disokong oleh Dana Mutiara FSK (FSK1). Penghargaan dan terima kasih juga diucapkan kepada Pusat Kajian Diagnostik, Terapeutik & Penyiasatan Fakulti Sains Kesihatan UKM untuk penggunaan makmal dan peralatan serta sokongan teknikal sepanjang menjalankan penyelidikan ini.

Perisytiharan Konflik Kepentingan

Penulis menyatakan bahawa tiada konflik kepentingan berkenaan penerbitan kertas ini.

Rujukan

- [1] Liu, J. Y., and J. K. Dickter. 2020. Nosocomial Infections: A History of Hospital-Acquired Infections. *Gastrointestinal Endoscopy Clinics of North America*. 30(4): 637-652. <https://doi.org/10.1016/j.giec.2020.06.001>.
- [2] Kollef, M. H., A. Torres, A.F. Shorr, I. Martin-Loeches, and S. T. Micek. 2021. Nosocomial Infection. *Critical Care Medicine*. 49(2): 169-187. <https://doi.org/10.1097/CCM.00000000000004783>.
- [3] Raoofi, S., F. Pashazadeh Kan, S. Rafiei, Z. Hosseinipalangi, Z. Noorani Mejareh, S. Khani, B. Abdollahi, F. Seyghalani Talab, M. Sanaei, F. Zarabi, Y. Dolati, N. Ahmadi, N. Raoofi, Y. Sarhadi, M. Masoumi, B. Sadat Hosseini, N. Vali, N. Gholamali, S. Asadi, S. Ahmadi, ... A. Ghashghaee. 2023. Global Prevalence of Nosocomial Infection: A Systematic Review and Meta-analysis. *PLoS One*. 18(1): e0274248. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0274248>.
- [4] De Oliveira, D. M. P., B.M. Forde, T. J. Kidd, P. N. A. Harris, M. A. Schembri, S. A. Beatson, D. L. Paterson, and M. J. Walker. 2020. Antimicrobial Resistance in ESKAPE Pathogens. *Clinical Microbiology Reviews*. 33(3): e00181-19. <https://doi.org/10.1128/CMR.00181-19>.
- [5] Tacconelli, E., E. Carrara, A. Savoldi, S. Harbarth, M. Mendelson, D.L. Monnet, C. Pulcini, G. Kahlmeter, J. Kluytmans, Y. Carmeli, M. Ouellette, K. Outtersen, J. Patel, M. Cavalieri, E. M. Cox, C. R. Houchens, M. L. Grayson, P. Hansen, N. Singh, U. Theuretzbacher, ... WHO Pathogens Priority List Working Group. 2018. Discovery, Research, and Development of New Antibiotics: The WHO Priority List of Antibiotic-resistant Bacteria and Tuberculosis. *The Lancet Infectious Diseases*. 18(3): 318-327. [https://doi.org/10.1016/S1473-3099\(17\)30753-3](https://doi.org/10.1016/S1473-3099(17)30753-3).
- [6] Castaño, N., S. C. Cordts, M. Kurosu Jalil, K. S. Zhang, S. Koppaka, A. D. Bick, R. Paul, and S. K. Y. Tang. 2021. Fomite Transmission, Physicochemical Origin of Virus-Surface Interactions, and Disinfection Strategies for Enveloped Viruses with Applications to SARS-CoV-2. *ACS Omega*. 6(10): 6509-6527. <https://doi.org/10.1021/acsomega.0c06335>
- [7] Kraay, A. N. M., M. A. L. Hayashi, N. Hernandez-Ceron, I. H. Spicknall, M. C. Eisenberg, R. Meza, and J. N. S. Eisenberg. 2018. Fomite-mediated Transmission as a Sufficient Pathway: A Comparative Analysis across Three Viral Pathogens. *BMC Infectious Diseases*. 18(1): 540. <https://doi.org/10.1186/s12879-018-3425-x>.
- [8] Mohtara, W. H. M. W., M. A. M. Razali, M. A. Mazlan, A. Z. A. Rozaini, S. A. P. Mooraltharan, A. A. Hamid, and M. R. Buyong. 2023. Rapid Detection of ESKAPE and Enteric Bacteria using Tapered Dielectrophoresis and Their Presence in Urban Water Cycle. *Process Safety and Environmental Protection*. 177: 427-435. <https://doi.org/10.1016/j.psep.2023.06.088>.
- [9] Rangel, K., F. O. Cabral, G. C. Lechuga, M. H. S. Villas-Bôas, V. Mitlej, and S. G. De-Simone. 2022. Effectiveness Evaluation of a UV-C-Photoinactivator against Selected ESKAPE-E Pathogens. *International Journal of Environmental Research and Public Health*. 19(24): 16559. <https://doi.org/10.3390/ijerph192416559>.
- [10] Setiyanto, H., F.M. Sari, M.Y. Azis, R.S.R.A. Sulaeman, M. A. Zulfikar, D. Ratnaningrum, and V. Saraswati. 2022. Electrochemical Degradation of Methylene Blue using Ce(IV) Ionic Mediator in the Presence of Ag(I) Ion Catalyst for Environmental Remediation. *Sains Malaysiana*. 51(1): 149-159. <http://doi.org/10.17576/jsm-2022-5101-12>.
- [11] Zin, N. M., A. N. Abd Rashid, N. A. Zulkhairi, N. A. Ridzman, K. B. Sulaiman, N. F. Abu Bakar, and A. Sukri. 2022. Isolation of Lactic Acid Bacteria from Cocoa Bean Fermentation as Potential Antibacterial Agent against ESKAPE Pathogens. *Sains Malaysiana*. 51(10): 3401-3414. <http://doi.org/10.17576/jsm-2022-5110-23>.
- [12] Nicoloro, J. M., J. Wen, J. Queiroz, Y. Sun, and N. Goodyear. 2020. A Novel Comprehensive Efficacy Test for Textiles Intended for use in the Healthcare Setting. *Journal of Microbiological Methods*. 173: 105937. <https://doi.org/10.1016/j.jmimet.2020.105937>.
- [13] Campos, M. D., P.C. Zucchi, A. Phung, S.N. Leonard, and E. B. Hirsch. 2016. The Activity of Antimicrobial Surfaces Varies by Testing Protocol Utilized. *PLoS One*. 11(8): e0160728. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0160728>.
- [14] Messenger, S., P. A. Goddard, P. W. Dettmar, and J. Y. Maillard. 2001. Determination of the Antibacterial Efficacy of Several Antiseptics Tested on Skin by an 'ex-vivo' Test. *Journal of Medical Microbiology*. 50(3): 284-292. <https://doi.org/10.1099/0022-1317-50-3-284>.
- [15] Matak, K. E., Churey, J. J., Worobo, R. W., Sumner, S. S., Hovingh, E., Hackney, C. R., & Pierson, M. D. 2005. Efficacy of UV Light for the Reduction of *Listeria Monocytogenes* in Goat's Milk. *Journal of Food Protection*. 68(10): 2212-2216. <https://doi.org/10.4315/0362-028x-68.10.2212>.
- [16] World Health Organization. 2016. [https://www.who.int/news-room/questions-and-answers/item/radiation-ultraviolet-\(uv\)](https://www.who.int/news-room/questions-and-answers/item/radiation-ultraviolet-(uv)) [date accessed: 27 November 2023].
- [17] Ploydaeng, M., N. Rajatanavin, and P. Rattanakaemakorn. 2021. UV-C Light: A Powerful Technique for Inactivating Microorganisms and the Related Side Effects to the Skin. *Photodermatology, Photoimmunology & Photomedicine*. 37(1): 12-19. <https://doi.org/10.1111/phpp.12605>.
- [18] Jurado-Martín, I., M. Sainz-Mejías, and S. McClean. 2021. *Pseudomonas aeruginosa*: An Audacious Pathogen with an Adaptable Arsenal of Virulence Factors. *International Journal of Molecular Sciences*. 22(6): 3128. <https://doi.org/10.3390/ijms22063128>.
- [19] Russo, T. A., and C. M. Marr. 2019. Hypervirulent *Klebsiella pneumoniae*. *Clinical Microbiology Reviews*. 32(3): e00001-19. <https://doi.org/10.1128/CMR.00001-19>.
- [20] Vuotto, C., F. Longo, C. Pascolini, G. Donelli, M. P. Balice, M. F. Libori, V. Tiracchi, A. Salvia, and P. E. Varaldo. 2017. Biofilm Formation and Antibiotic Resistance in *Klebsiella pneumoniae* Urinary Strains. *Journal of Applied Microbiology*. 123(4): 1003-1018. <https://doi.org/10.1111/jam.13533>.
- [21] Nunez, C., X. Kostoulias, A. Peleg, F. Short, and Y. Qu. 2023. A Comprehensive Comparison of Biofilm Formation and Capsule Production for Bacterial Survival on Hospital Surfaces. *Biofilm*. 5: 100105. <https://doi.org/10.1016/j.bioflm.2023.100105>.
- [22] Abdanan Mehdizadeh, S., S. Minaei, M. A. Karimi Torshizi, and E. Mohajerani. 2015. Effect of UV Irradiation, Sample Thickness and Storage Temperature on Storbility, Bacterial Activity and Functional Properties of Liquid Egg. *Journal of Food Science and Technology*. 52(7): 4414-4422. <https://doi.org/10.1007/s13197-014-1509-1>.
- [23] Boyce, J. M., P. A. Farel, D. Towle, R. Fekieta, and M. Aniskiewicz. 2016. Impact of Room Location on UV-C Irradiance and UV-C Dosage and Antimicrobial Effect Delivered by a Mobile UV-C Light Device. *Infection Control and Hospital Epidemiology*. 37(6): 667-672. <https://doi.org/10.1017/ice.2016.35>.
- [24] Nerandzic, M. M., P. Thota, C.T. Sankar, A. Jencson, J. L. Cadnum, A. J. Ray, R. A. Salata, R. R. Watkins, and C. J. Donskey. 2015. Evaluation of a Pulsed Xenon Ultraviolet Disinfection System for Reduction of Healthcare-associated Pathogens in Hospital Rooms. *Infection Control and Hospital Epidemiology*. 36(2): 192-197. <https://doi.org/10.1017/ice.2014.36>.
- [25] Mills, D., D. A. Harnish, C. Lawrence, M. Sandoval-Powers, and B. K. Heimbuch. 2018. Ultraviolet Germicidal Irradiation of Influenza-contaminated N95 Filtering Facepiece Respirators. *American Journal of Infection Control*. 46(7): e49-e55. <https://doi.org/10.1016/j.ajic.2018.02.018>.
- [26] Guamán-Lozada, D. F., D. C. Vasco, M. P. Rivera, and G. P. Bonilla. 2023. Effect of Milk Film Thickness on the

- Efficiency of UVC Radiated Sterilization of Raw Cow's Milk. *International Journal of Food Properties*. 26(1): 1497-1505.
- [27] Jamal, S. M., H. Bahari, D. J. Arapoc, M. A. Adnan, I. J. M. Diah and A. S. Jasni. 2023. Effects of Cobalt-60 Gamma on Microbial Elimination and Phytochemical Constituents in *Orthosiphon aristatus* (Misai Kucing) (Blume) Miq. *Sains Malaysiana*. 52(7): 2009-2020. <http://doi.org/10.17576/jsm-2023-5207-10>.
- [28] Kowalski, W. 2009. Ultraviolet Germicidal Irradiation Handbook. Berlin Heidelberg Liu, J. Y., & Dickter, J. K. 2020. Nosocomial Infections: A History of Hospital-acquired Infections. *Gastrointestinal Endoscopy Clinics of North America*. 30(4): 637-652. <https://doi.org/10.1016/j.giec.2020.06.001>.
- [29] Oguma, K., H. Katayama, H. Mitani, S. Morita, T. Hirata, and S. Ohgaki. 2001. Determination of Pyrimidine Dimers in *Escherichia coli* and *Cryptosporidium Parvum* during UV Light Inactivation, Photoreactivation, and Dark Repair. *Applied and Environmental Microbiology*. 67(10): 4630-4637. <https://doi.org/10.1128/AEM.67.10.4630-4637.2001>.
- [30] Adhikari, A., Syamaladevi, R. M., Killinger, K., & Sablani, S. S. 2015. Ultraviolet-C Light Inactivation of *Escherichia coli* O157: H7 and *Listeria Monocytogenes* on Organic Fruit Surfaces. *International Journal of Food Microbiology*. 210: 136-142. <https://doi:10.1016/j.ijfoodmicro.2015.06.018>.
- [31] Muhamad Haziq bin Md Khalid. 2021. Penggunaan Sinaran Ultraungu-c dan Nanopartikel Fotopemangkin sebagai Agen Antimikrob pada Peralatan Perlindungan Diri. Tesis Sarjana, Fakulti Sains Kesihatan, Universiti Kebangsaan Malaysia.