

Keberkesanan Peranti Sekunder Pelindung Aerosol Dalam Pembendungan Penyebaran Aerosol: Satu Perbandingan (Effectiveness of Secondary Aerosol Shielding Devices in Aerosol Dispersal Containment: A Comparison)

Zulfikar Zulkiffi^a, Nor Kamaliana Khamis^{a*}, Yew Hzu Zen^b, Badiah Baharin^b, Nashrah Hani Jamadon^a, Zaliha Wahid^a, Abdul Hadi Azman^a, Divakarand Narendran^a & Mohd Rasidi Mohd Rasani^a

^aJabatan Kejuruteraan Mekanikal dan Pembuatan,
Fakulti Kejuruteraan dan Alam Bina, Universiti Kebangsaan Malaysia

^bJabatan Pergigian Restoratif, Fakulti Pergigian,
Universiti Kebangsaan Malaysia

*Corresponding author: kamaliana@ukm.edu.my

Received 21 March 2024, Received in revised form 5 May 2024
Accepted 5 June 2024, Available online 30 September 2024

ABSTRAK

Aerosol merupakan zarah udara dengan pelbagai saiz yang dapat menyebabkan penularan virus, terutamanya dalam rawatan pergigian yang melibatkan penjanaan aerosol. Walaupun terdapat peralatan perlindungan sedia ada, risiko jangkitan masih wujud. Oleh itu, kajian ini menekankan kepada kepentingan pencirian reka bentuk peralatan yang dapat membendung penyebaran aerosol semasa rawatan. Kajian ini melibatkan tinjauan dan temu bual untuk mendapatkan maklum balas dari pasukan pergigian berkaitan kesesuaian peranti pelindung aerosol. Dengan menggunakan perisian Autodesk Inventor dan ANSYS Workbench, tiga jenis reka bentuk peranti pelindung aerosol iaitu Pelindung A, B dan C dihasilkan dan disimulasikan untuk menilai keberkesanannya dalam membendung penyebaran aerosol. Hasil kajian menunjukkan bahawa ketiga-tiga reka bentuk aerosol mempunyai keberkesanan yang tinggi dalam pembendungan penyebaran aerosol. Perbezaan nilai rawak halaju serakan cecair adalah sekitar 0.27% hingga 0.54% berdasarkan hasil simulasi. Kajian ini juga memberi penekanan kepada aspek ergonomik, dengan reka bentuk peranti Pelindung C menunjukkan penerapan ciri yang baik dalam aspek ini. Kesimpulannya, peranti pelindung aerosol membantu meminimalkan penyebaran aerosol kepada ahli pasukan pergigian dan juga dapat diaplikasikan dalam pelbagai bidang perubatan lain untuk membendung penyebaran aerosol semasa rawatan.

Kata kunci: Peralatan pelindung; aerosol; simulasi; pergigian; virus

ABSTRACT

Aerosols are small particles suspended in the air that can facilitate the spread of viruses, particularly during dental procedures that produce aerosols. Despite the implementation of protective equipment, the possibility of infection remains. Hence, this study emphasizes the importance of characterizing the design of equipment that can contain the spread of aerosols during treatment. This study comprised of interviews to gather feedback from the dental team regarding the appropriateness of aerosol shields. The effectiveness of three aerosol protective device designs, Protectors A, B, and C, in preventing the spread of aerosols was evaluated through simulation using Autodesk Inventor and ANSYS Workbench software. The study's findings indicate that all three aerosol designs exhibit a high level of efficacy in preventing the dispersion of aerosols. The difference of the random value of liquid dispersion velocity is around 0.27% to 0.54% based on the simulation results. This study also highlights the importance of ergonomic considerations, with the designs of Protector C devices demonstrating effective implementation of features in this aspect. Overall, aerosol protective devices effectively reduce the transmission of aerosols to dental team members and can also be utilized in many medical disciplines to restrict the dispersion of aerosols during treatment.

Keywords: Protective device; aerosol; simulation; dentistry; virus

PENGENALAN

Aerosol ialah zarah halus pepejal atau titisan cecair dalam pelbagai saiz yang terampai dalam gas sederhana (An et al. 2020). Aerosol boleh bersifat semula jadi atau antropogenik. Contoh aerosol semula jadi termasuk kabus, debu, dan wap geiser, manakala contoh aerosol antropogenik adalah pencemaran udara dan asap. Secara umum, aerosol biasanya merujuk kepada semburan aerosol daripada suatu bekas. Penggunaan aerosol diaplikasikan dalam pelbagai teknologi antaranya termasuk penyebaran racun serangga, rawatan perubatan penyakit pernafasan, dan teknologi pembakaran. Dalam prosedur rawatan perubatan, prosedur penjanaan aerosol adalah antara prosedur perubatan yang boleh mengakibatkan pembebasan aerosol daripada saluran pernafasan (Sanmark et al. 2023). Penyakit juga boleh tersebar melalui titisan kecil dalam nafas, melalui penyebaran aerosol atau lebih tepatnya dikenali sebagai bioaerosol. Dengan kemunculan pelbagai virus boleh berjangkit seperti SARS COVID19, pihak perubatan menyediakan beberapa prosedur tambahan bagi kes rawatan yang melibatkan penjanaan aerosol.

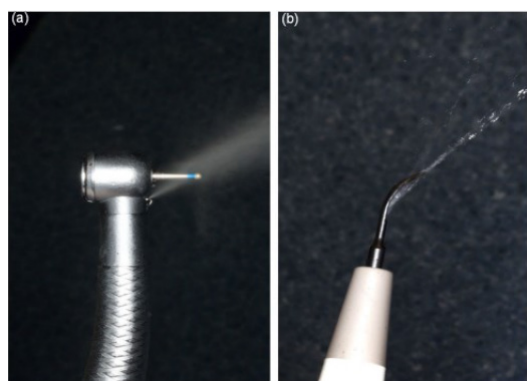
Pasukan dalam rawatan pergigian adalah antara kategori barisan hadapan dengan risiko yang tertinggi untuk penularan virus. Ini disebabkan oleh rawatan pergigian melibatkan prosedur pergigian yang kebanyakannya menggunakan peralatan menggunakan aerosol untuk proses rawatan (Van der Weijden 2023). Kajian lepas menunjukkan pelbagai jenis pengurusan klinikal dan protokol kawalan infeksi ketika pandemik COVID-19 (Rafeeq et al. 2023; Shahin et al. 2023; Shang et al. 2020; Ludovichetti et al. 2020; Eden et al. 2020). Keadaan ini menunjukkan kekangan yang terpaksa dihadapi ketika proses rawatan sehingga menyebabkan temujanji antara pesakit dan pasukan perubatan pergigian terjejas. Walaupun ketika penularan COVID-19 telah menyekat pesakit COVID-19 untuk mendapatkan rawatan pergigian, namun begitu, pesakit tanpa gejala yang menjadi pembawa serta pesakit dengan penyakit pernafasan boleh menjadi punca penyebaran virus ini tetap berlaku. Meskipun penting untuk merawat pesakit, tetapi matlamat utama adalah mencegah penularan kepada pesakit dan kakitangan penjagaan kesihatan.

Sehingga tahun semasa, banyak kajian sebelum ini telah dijalankan mengenai penyebaran virus melalui udara dan aerosol semasa operasi pergigian, namun sedikit yang berkaitan rapat dengan keberkesanan pembendungan aerosol berkaitan dengan peranti sekunder (Malmgren et al. 2023; Dey et al. 2023; Choudhary et al. 2022; Eden et al. 2020). Sebagai contohnya, Malmgren et al. (2023) menilai risiko yang ditimbulkan oleh prosedur pergigian yang berbeza kepada pasukan perubatan rawatan pergigian,

dan keberkesanan pemindahan isipadu tinggi dalam mitigasi risiko, dan mengesyorkan penggunaan pemindahan isipadu tinggi yang teliti, memakai topeng yang sesuai dan menggunakan pelindung muka dalam prosedur pergigian. Selain itu, satu kajian lain telah dijalankan, menyatakan bahawa risiko penyebaran menggunakan prosedur bebas aerosol dalam pergigian adalah rendah atau neutral oleh kira-kira 55% pakar. Manakala untuk prosedur yang menghasilkan aerosol, majoriti 93% bersetuju bahawa risikonya tinggi (Becker et al. 2020). Oleh itu, peralatan perlindungan diri yang sesuai perlu digunakan untuk mengelakkan risiko jangkitan yang tinggi.

Dalam era pandemik COVID-19 ini, banyak garis panduan kawalan jangkitan telah berubah secara drastik berikutan peningkatan mendadak kes di seluruh dunia. Penggunaan alat pelindung diri yang sesuai amat dititikberatkan supaya kadar penularan jangkitan dapat dikurangkan. Oleh itu, banyak pendekatan telah dibuat terhadap kesan wabak yang telah melanda di seluruh dunia. Banyak inovasi dan prosedur pencegahan penularan wabak telah dihasilkan seperti peralatan pelindung diri untuk mulut, hidung, tangan dan muka. Walau bagaimanapun, semua bentuk model dan cadangan penggunaan peralatan perlindungan diri tidak dapat memaksimumkan tahap keselamatan pengguna terhadap wabak ini (Fried et al. 2020). Tambahan pula, banyak prosedur yang dicadangkan memberi kekangan kepada pakar perubatan dalam proses merawat pesakit (Gallagher et al. 2020). Antara kekangan yang dihadapi oleh pakar perubatan ialah semasa penggunaan instrumen atau alat rawatan yang memerlukan kawalan dan keselesaan. Faktor ini sangat penting kerana ia memainkan peranan penting dalam kejayaan rawatan. Penilaian yang sewajarnya perlu dilakukan dalam membangunkan peralatan atau prosedur pelindung diri yang sesuai bukan sahaja untuk mengurangkan pendedahan kepada wabak COVID-19, tetapi juga untuk mengekalkan kadar keberkesanan proses rawatan yang dilakukan oleh doktor.

Pemahaman berkaitan kepentingan penyebaran aerosol dan implikasinya adalah salah satu cara untuk mengenal pasti reka bentuk peralatan pelindung diri yang sesuai untuk digunakan. Namun begitu, prosedur yang melibatkan rawatan juga perlu diambil kira bagi mengekalkan keselesaan anggota kesihatan semasa merawat pesakit. Oleh itu, kajian perlu dilakukan untuk mereka bentuk alat pelindung aerosol baharu dalam membendung penyebaran aerosol terutamanya dalam sektor pergigian. Reka bentuk alat pelindung aerosol yang akan dihasilkan mestilah berdasarkan keperluan, pandangan, dan cadangan pengguna iaitu doktor gigi. Rajah 1 menunjukkan contoh aerosol yang dijana dalam pergigian (Ge et al. 2020).



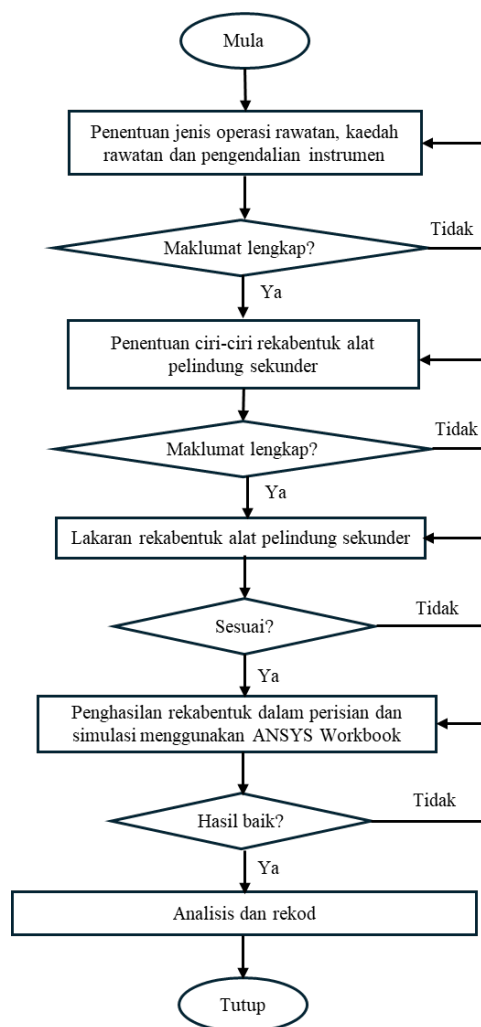
RAJAH 1: Contoh aerosol yang dijana dalam pergigian: (a) plat tangan berkelajuan tinggi dan (b) penimbang ultrasonik
 Sumber: Ge et al. (2020)

Oleh itu, tujuan kajian ini adalah untuk menentukan operasi pergigian yang melibatkan penggunaan peralatan berasaskan aerosol melalui pemerhatian dan temu bual di pusat rawatan pergigian. Selain itu, tujuan kajian ini adalah untuk mereka bentuk peralatan pelindung sekunder yang sesuai digunakan oleh doktor gigi dan pasukan pergigian berdasarkan input data daripada temu bual dan penilaian di pusat rawatan pergigian. Akhir sekali, tujuan kajian ini adalah untuk mengkaji perbezaan dalam penyebaran zarah cecair daripada peralatan pelidngung sekunder semasa rawatan pergigian.

KAEDAH KAJIAN

Sepasukan ahli pasukan rawatan pergigian yang terdiri daripada doktor gigi dan pembantu doktor gigi di salah satu pusat rawatan pergigian yang terletak di Kuala Lumpur, Malaysia terlibat dalam kajian ini. Kaedah pemerhatian di pusat rawatan pergigian serta temubual bersama pasukan ahli pasukan rawatan pergigian dijalankan bagi mendapatkan maklumat yang sesuai bagi mencapai tujuan utama kajian. Kajian dimulakan dengan pemahaman berkaitan jenis-jenis operasi rawatan, proses rawatan dan instrumen rawatan pergigian yang digunakan ketika proses rawatan. Skop kajian ini menumpukan kepada rawatan yang menggunakan instrumen yang menjana aerosol sebagai input dalam penghasilan rekabentuk alat pelindung sekunder. Rajah 2 menunjukkan carta alir keseluruhan kajian ini.

Berdasarkan Rajah 2, maklumat yang dikumpulkan melalui pemerhatian dan temubual dengan ahli pasukan rawatan pergigian digunakan bagi menghasilkan bentuk dan ciri rekabentuk alat pelindung sekunder yang sesuai. Berikut merupakan soalan yang dikenalpasti bagi memastikan keperluan tujuan kajian dipenuhi:



RAJAH 2. Carta alir kajian

1. Apakah jenis rawatan pergigian dan instrumen rawatan pergigian umum yang terdapat di pusat rawatan?
2. Apakah jenis rawatan pergigian dan instrumen rawatan pergigian yang melibatkan penjana aerosol yang digunakan ketika rawatan?
3. Bagaimana prosedur rawatan dan pengendalian instrumen dari segi cara pemegangan instrumen, postur badan serta pergerakan doktor gigi dan pembantu doctor gigi ketika rawatan?
4. Apakah jenis rekabentuk yang sesuai untuk proses rawatan yang dipilih?
5. Apakah ciri-ciri penting rekabentuk alat pelindung sekunder dari segi dimensi alat pelindung, fleksibiliti dan kesesuaian penggunaan ketika proses rawatan?

Selepas maklumat berkaitan soalan-soalan di atas diperolehi dan dilengkapkan, proses berikutnya melibatkan lakaran rekabentuk alat pelindung sekunder yang sesuai.

Setelah lakaran rekabentuk disahkan sesuai oleh ahli pasukan rawatan pergigian, lakaran reka bentuk alat pelindung dijana dalam perisian CAD 3D. Ia bertujuan untuk mendapatkan gambaran yang lebih jelas bagi tujuan analisis seterusnya. Pada peringkat kedua akhir carta alir yang ditunjukkan dalam Rajah 1, simulasi serakan zarah cecair daripada alat pelindung sekunder dalam proses rawatan melibatkan penggunaan instrumen aerosol ditetapkan dengan menggunakan perisian ANSYS Workbench. Analisis Pengkomputeran Dinamik Bendalir akan diperoleh daripada simulasi tersebut untuk menentukan keberkesanan alat perlindungan diri dalam membendung penyebaran aerosol.

ANSYS Workbench ialah sejenis perincian penyelesaian masalah kejuruteraan berangka iaitu mensimulasikan interaksi dalam prinsip fizik, struktur, getaran, dinamik bendalir, pemindahan haba dan elektromagnet untuk jurutera (Chimakurthi et al. 2018). Skop analisis dalam perisian ini merangkumi pemeriksaan aliran bendalir dengan sifat fizikalnya seperti halaju, tekanan, suhu, ketumpatan dan kelikatan. Penggunaan perisian ini memudahkan untuk memperoleh segala keputusan serta dapatan nilai melalui analisis dapat ditentukan serta difahami dengan lebih mudah. Jadual 1 menunjukkan spesifikasi elemen yang ditetapkan dalam perisian bagi tujuan simulasi.

JADUAL 1. Tetapan elemen untuk simulasi

Elemen	Spesifikasi
Jenis mod	Aliran Bendalir (Fluent)
Halaju salur masuk	7.29 m/s
Tekanan tolok awal	1 Pa
Tekanan salur keluar	3 Pa

Merujuk kepada Jadual 1, mod jenis Aliran Bendalir (Fluent) (*Fluid Flow (Fluent)*) digunakan. Jenis mod ini digunakan kerana mempunyai keupayaan pemodelan fizikal yang luas yang diperlukan sama ada dalam aliran cecair, pemindahan haba, akustik, pergolakan dan tindak balas dalam perindustrian. Domain cecair hendaklah ditentukan untuk simulasi Fluent ini pada tetapan. Selepas model reka bentuk tiga dimensi telah dipaparkan dalam ruangan kerja ANSYS Workbench, terdapat tiga tetapan penting yang perlu dilakukan iaitu saiz jejaring, keadaan sempadan dan keadaan sempadan dan penyelesaian yang dikehendaki. Pengkomputeran dibahagikan kepada isipadu unsur terhingga atau elemen dalam penjana jejaring. Penjana jejaring melibatkan sel (mengawal isipadu kepada domain yang dipecahkan), nod (titik grid), pusat sel, sisi (sempadan muka) dan muka (sempadan sel).

Langkah yang seterusnya adalah persediaan untuk simulasi. Magnitud halaju yang ditetapkan untuk simulasi

pada bahagian halaju salur masuk adalah 7.29 m/s. Tetapan yang digunakan ini adalah berdasarkan daripada hasil maklumbalas daripada tinjauan yang dilakukan serta daripada gabungan kajian-kajian lepas (Onoyama et al. 2022; Kumar et al. 2023). Tekanan tolok awal (initial gauge pressure) yang digunakan dalam simulasi ini adalah 1 Pa. Tetapan pada nilai pergolakan adalah seperti yang ditetapkan oleh sistem ANSYS Workbench. Nilai tetapan yang digunakan untuk tekanan salur keluar (pressure outlet) adalah 3 Pa untuk tekanan tolok (gauge pressure).

Manakala, untuk tetapan nilai pergolakan adalah seperti yang ditetapkan oleh sistem ANSYS Workbench. Tetapan yang digunakan untuk ketiga-tiga reka bentuk adalah sama untuk mendapatkan situasi yang sama dan mendapatkan keputusan yang lebih tepat. Tetapan yang digunakan adalah berdasarkan situasi sebenar rawatan pergigian semasa merawat pesakit. Keputusan simulasi ini menghasilkan corak penyebaran aerosol terhadap kedua-dua reka bentuk alat perlindungan aerosol dan perbandingan terhadap hasil simulasi tersebut. Tujuan utama simulasi ini adalah untuk membandingkan keberkesanan alat perlindungan daripada penyebaran aerosol.

KEPUTUSAN DAN PERBINCANGAN

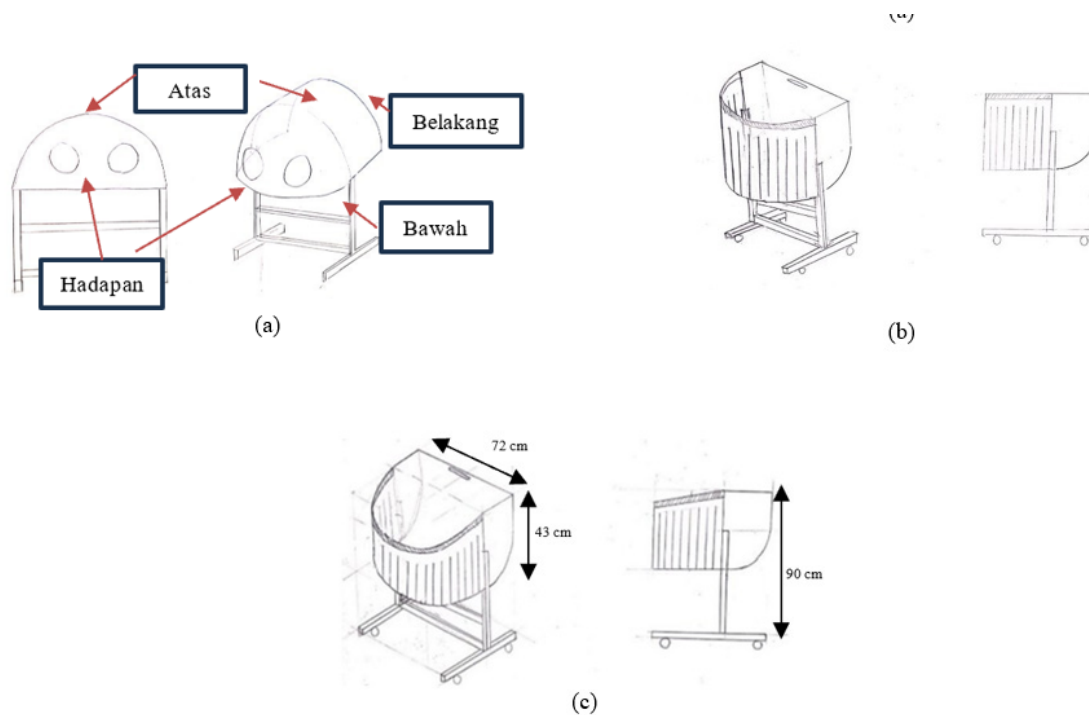
Terdapat tiga jenis rekabentuk yang memenuhi kriteria ditetapkan dengan ahli pasukan rawatan pergigian dihasilkan bagi tujuan perbandingan. Berdasarkan temubual Bersama ahli pasukan rawatan pergigian, berikut adalah cadangan utama temu bual dengan ahli pasukan rawatan pergigian:

1. Bahagian atas reka bentuk hendaklah telus dan tidak mengganggu pandangan semasa rawatan
2. Bahagian atas, bawah dan tepi reka bentuk hendaklah ditutup untuk mengurangkan serakan aerosol
3. Reka bentuk tidak mengganggu pergerakan kaki doktor gigi semasa digunakan.
4. Ruang yang sesuai antara pesakit dan peranti pelindung untuk pernafasan pesakit dan penggunaan peranti semasa rawatan
5. Pergerakan mudah alih dan tidak terhad bagi peranti pelindung
6. Pergerakan alat pelindung tidak mengganggu keselesaan pesakit semasa rawatan
7. Ketinggian peranti pelindung boleh dilaraskan untuk kegunaan doktor gigi dengan ketinggian dan keselesaan yang berbeza
8. Mudah disimpan dan tidak mengambil banyak ruang untuk penyimpanan

Dapatan daripada pemerhatian dan temubual tersebut merupakan maklumat penting untuk proses lakaran reka bentuk peranti pelindung aerosol yang akan dilakukan untuk kajian ini. Pencirian peranti pelindung aerosol ini mengambil daripada aspek penggunaan keselamatan, dan penyelesaian bukan sahaja untuk doktor gigi tetapi juga untuk pesakit. Elemen ergonomik juga diterapkan untuk reka bentuk ini. Kesemua aspek ini memainkan peranan penting dalam penghasilan reka bentuk alat pelindung aerosol ini.

Rajah 3(a) hingga 3(c) menunjukkan lakaran rekabentuk alat pelindung sekunder yang dihasilkan yang mempunyai empat bahagian utama, iaitu hadapan, atas, belakang, dan bawah. Kesemua ketiga-tiga rekabentuk mempunyai bahagian terbuka pada bahagian belakang dan bawah, serta bahagian tertutup di bahagian atas. Dimensi tinggi dan lebar alat pelindung sekunder ditunjukkan

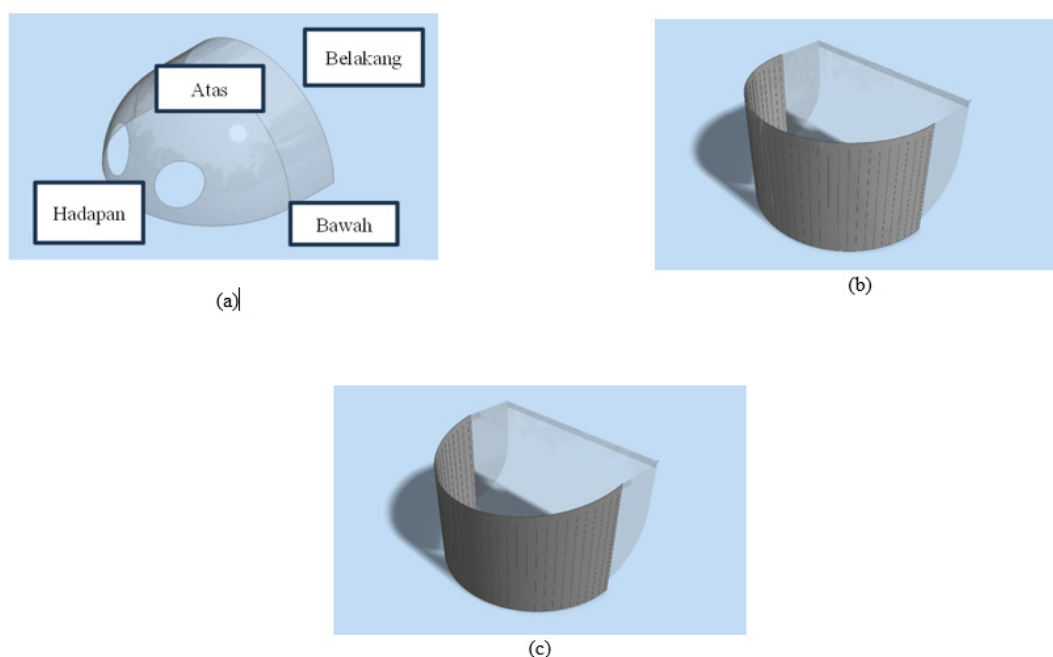
seperti ditunjukkan dalam Rajah 3(c). Namun begitu, terdapat perbezaan untuk rekabentuk bahagian hadapan. Untuk Rajah 3(a), terdapat dua lubang pada bahagian hadapan, di mana doktor gigi akan melakukan prosedur rawatan dengan memasukkan kedua-dua tangannya. Manakala, untuk Rajah 3(b) dan Rajah 3(c), satu tirai plastik lutsinar yang boleh diselak satu per satu diletakkan di bahagian hadapan bagi memberikan akses yang lebih fleksibel untuk doktor gigi. Selain itu, terdapat perbezaan juga untuk Rajah 3(b) dan Rajah 3(c), iaitu pada bahagian permukaan atas pelindung, iaitu terdapat sudut 10° di hadapan peralatan pelindung. Tujuan reka bentuk itu ditambah adalah untuk mengelakkan pelindung muka yang dipakai oleh doktor gigi semasa melakukan operasi rawatan tidak mengenai peralatan pelindung aerosol sekunder.



RAJAH 3. Tiga jenis lakaran rekabentuk alat pelindung sekunder: (a) Rekabentuk pertama iaitu Pelindung A, (b) Rekabentuk kedua iaitu Pelindung B dan (c) Rekabentuk ketiga iaitu Pelindung C

Setelah lakaran ini dipersetujui ahli pasukan rawatan pergigian, ketiga-tiga reka bentuk peranti pelindung aerosol dibentuk dan dijana menggunakan perisian Autodesk Inventor. Rajah 4(a) hingga 4(c) menunjukkan model yang dihasilkan bagi peranti pelindung aerosol menggunakan perisian Autodesk Inventor. Model ini dibangunkan menggunakan dimensi sama seperti yang diukur ketika sesi pemerhatian dan temubual bersama ahli pasukan rawatan pergigian iaitu dengan kadar 1:1. Seperti ditunjukkan dalam Rajah 3, terdapat empat bahagian utama alat pelindung sekunder ini bagi tujuan perlindungan

daripada serakan bendalir atau aerosol yang dijana daripada instrumen yang digunakan. Secara umumnya, risiko penularan virus melibatkan penjana aerosol adalah tinggi ketika melakukan prosedur rawatan pergigian (Becker et al. 2023). Perbezaan ketara pada ketiga-tiga rekabentuk ialah permukaan pada bahagian atas di mana rekabentuk pertama berbentuk semi-sfera, rekabentuk kedua berpermukaan rata manakala rekabentuk ketiga berpermukaan rata juga tetapi terdapat kecondongan sebanyak 10° di bahagian hadapan. Selain itu, perbezaan lain ialah rekabentuk bahagian hadapan terutama pada rekabentuk pertama.



RAJAH 4. (a) Tiga jenis model alat pelindung sekunder yang melibatkan pelindung bagi serakan aerosol: (a) Rekabentuk pertama (Pelindung A), (b) Rekabentuk kedua (Pelindung B) dan (c) Rekabentuk ketiga (Pelindung C)

Jadual 2 menunjukkan perincian daripada segi kelebihan dan kelimahan setiap rekabentuk. Umumnya, tujuan alat pelindung sekunder dihasilkan ialah untuk meminimakan serakan aerosol ketika rawatan pergigian. Penghasilan reka bentuk peranti pelindung aerosol adalah untuk meningkatkan keselamatan antara pesakit dan pasukan pergigian semasa rawatan. Alat pelindung aerosol ini berfungsi sebagai dinding pertahanan antara pesakit dan pasukan pergigian. Kadar jangkitan antara pesakit dan pasukan pergigian boleh dikurangkan dengan adanya alat pelindung aerosol ini. Walau bagaimanapun, tidak semua pembedahan atau rawatan pergigian memerlukan penggunaan alat pelindung aerosol ini. Penggunaan alat pelindung aerosol ini bertujuan untuk mengelakkan

penyebaran aerosol apabila terdapat operasi atau rawatan yang menghasilkan aerosol sahaja.

Walaupun terdapat banyak alat pelindung lain yang telah dimasukkan ke dalam prosedur semasa rawatan, pasukan pergigian masih berisiko dijangkiti virus yang mudah tersebar ketika rawatan. Walaupun begitu, penggunaan peralatan perubatan terpakai lain seperti, pelindung muka, topeng muka, sarung tangan dan lain-lain tidak berfungsi untuk mengurangkan penularan antara pesakit dan pasukan pergigian. Oleh itu, penghasilan alat pelindung aerosol sekunder ini adalah sebagai alat pelindung tambahan untuk meningkatkan lagi keselamatan pesakit dan pasukan pergigian. Oleh itu, perincian rekabentuk bagi tujuan dinyatakan sangat diutamakan.

JADUAL 2. Perincian setiap rekabentuk

Rekabentuk	Kelebihan	Kekurangan
Pelindung A	Reka bentuk peranti pelindung aerosol ini boleh mengekang penyebaran aerosol. Mempunyai reka bentuk sfera yang mengelakkan gangguan pada doktor gigi yang memakai alat pelindung diri (<i>personal protective equipment, PPE</i>).	Dua lubang direka untuk memasukkan tangan ke dalam menghadkan pergerakan pasukan pergigian semasa melakukan rawatan. Pergerakan sahaja mungkin di dua lubang dan menjadikan pergerakan pasukan pergigian terhad dan tidak dapat melakukan rawatan dengan selesa. Selain itu, lubang yang direka untuk memasukkan tangan bertujuan untuk merawat pesakit sebagai laluan penyebaran aerosol ke luar peranti pelindung aerosol.

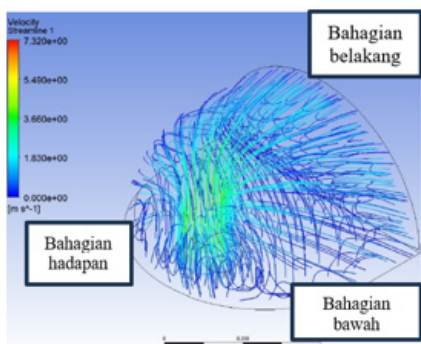
Bersambung ...

... Sambungan

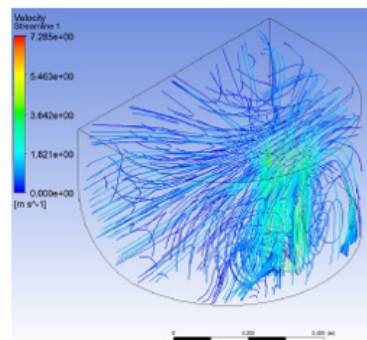
Pelindung B	Mempunyai tirai plastik lutsinar yang digunakan untuk memudahkan pasukan pergigian memasukkan tangan ke dalam dan menjadikan rawatan lebih cekap dan selesa. Penggunaan tirai plastik tidak menghadkan pergerakan pasukan pergigian semasa rawatan. Bahagian belakang pelindung aerosol ini telah direka bentuk supaya tidak tajam untuk mengelakkan kemalangan semasa digunakan.	Walaupun pelarasan sudut telah ditambahkan pada peranti pelindung aerosol ini, ia masih tidak mencukupi untuk memberikan keselesaan kepada pasukan pergigian yang memakai PPE semasa rawatan. Pelindung muka yang dipakai oleh pasukan pergigian akan berlanggar dengan alat pelindung aerosol semasa rawatan dijalankan berdasarkan tinjauan.
Pelindung C	Menggunakan langsir plastik lutsinar sebagai sebahagian daripada ruang lengan pasukan pergigian untuk rawatan. Kegunaan tirai plastik lutsinar ini ialah ia dapat mengurangkan kadar resapan aerosol yang keluar dari ruang. Perbezaan reka bentuk ini dengan reka bentuk kedua adalah bahagian hadapan alat pelindung ini diturunkan pada sudut 10°. Ini bertujuan untuk memberi keselesaan kepada pasukan pergigian semasa merawat pesakit dengan pemakaian topeng muka. Ia menghalang perlanggaran antara pelindung aerosol dan pelindung yang dipakai oleh pasukan pergigian semasa rawatan.	Pelarasan sudut bahagian pandangan atas alat pelindung sekunder telah ditetapkan secara spesifik sebanyak 10°.

Simulasi aliran bendalir untuk tiga reka bentuk alat pelindung sekunder dilakukan menggunakan perisian ANSYS. Rajah 5 menunjukkan hasil simulasi serakan bendalir bagi ketiga-tiga rekabentuk iaitu Pelindung A, Pelindung B dan Pelindung C. Berdasarkan pemerhatian dari Rajah 5(a), reka bentuk yang berbentuk sfera

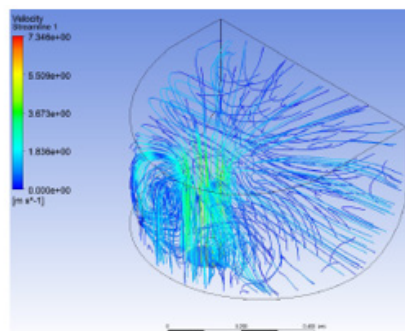
membuatkan pergerakan zarah di dalam alat pelindung aerosol bergerak dengan laju setelah mengenai bahagian dinding alat pelindung aerosol. Kebanyakan zarah yang tehasil dalam simulasi ini bergerak ke arah salur keluar (*outlet*) iaitu ruang yang terbuka sepenuhnya pada bahagian belakang dan bawah.



(a) Pelindung A



(b) Pelindung B



(c) Pelindung C

RAJAH 5. Hasil simulasi serakan bendalir bagi rekabentuk Pelindung A, Pelindung B dan Pelindung C

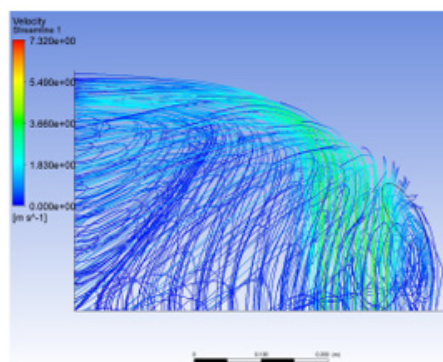
Selain itu, merujuk kepada Rajah 5(a) untuk bahagian hadapan iaitu di mana doktor gigi akan melakukan operasi rawatan, tumpuan diberikan kepada dua lubang yang direka bentuk untuk tangan doktor gigi. Kadar halaju penyebaran bendalir yang keluar daripada bahagian tersebut adalah agak tinggi disebabkan ruang tersebut yang besar, tertumpu dan instrumen yang digunakan lebih dekat dengan doktor gigi. Kadar bendalir yang tinggi pada bahagian tersebut menunjukkan kadar pengeluaran bendalir yang tinggi berlaku pada dua salur keluar, iaitu pada dua lubang tersebut. Oleh itu, banyak aerosol akan keluar daripada bahagian tersebut dan terdedah kepada doktor gigi yang sedang melakukan operasi. Ia menunjukkan keberkesanan yang rendah terhadap pembendungan aerosol kepada doktor gigi.

Seterusnya, Rajah 5(b) ialah hasil simulasi reka bentuk pelindung aerosol kedua. Untuk tujuan simulasi model rekabentuk kedua ini, tumpuan diberikan kepada bahagian hadapan tengah sahaja di mana lubang pada rekabentuk ini adalah kecil menyerupai ruang masuk doktor gigi ketika melakukan rawatan. Dalam kes ini, seperti diterangkan

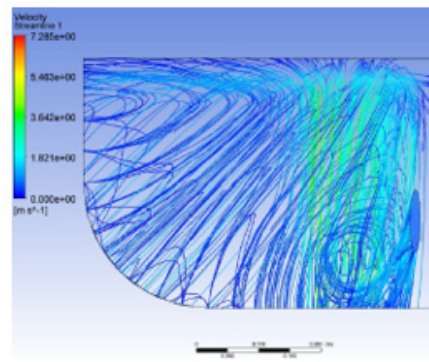
dalam Rajah 3, terdapat satu tirai plastik lutsinar yang boleh diakses dari pelbagai arah diletakkan pada bahagian hadapan rekabentuk Pelindung B dan Pelindung C. Berbanding Pelindung A, pergerakan zarah keluar dari hadapan peranti pelindung adalah terlalu minima. Ia menunjukkan keberkesanan rekabentuk alat pelindung aerosol kerana dapat menghalang penyebaran aerosol ke arah ahli pasukan rawatan pergigian.

Walaupun bagaimanapun, berbanding rekabentuk pertama, bentuk pergerakan zarah di dalam alat pelindung aerosol adalah tidak sekata dan rawak. Halaju zarah selepas keluar dari salur masuk adalah tinggi, tetapi selepas pecah pada bahagian dinding alat pelindung aerosol, halaju zarah menjadi perlahan dan menunjukkan pergerakan keluar dari peranti pelindung melalui salur keluar.

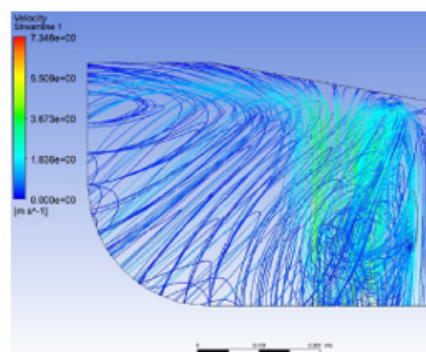
Rajah 5(c) pula ialah hasil simulasi reka bentuk pelindung aerosol ketiga. Seperti model rekabentuk Pelindung B, untuk tujuan simulasi model rekabentuk ketiga ini, tumpuan diberikan kepada bahagian hadapan tengah sahaja di mana lubang pada rekabentuk ini adalah kecil menyerupai ruang masuk tangan doktor gigi ketika



(a) Pelindung A



(b) Pelindung B



(c) Pelindung C

RAJAH 6. Pandangan sisi hasil simulasi reka bentuk Pelindung A, Pelindung B dan Pelindung C

melakukan rawatan. Berbanding rekabentuk Pelindung A juga, pergerakan zarah keluar dari hadapan peranti pelindung adalah terlalu minima.

Berdasarkan hasil simulasi ini, pergerakan zarah yang ditunjukkan juga adalah sangat baik kerana pergerakan minima zarah keluar daripada alat pelindung aerosol ke arah bahagian hadapan, sama seperti rekabentuk Pelindung B. Ia menunjukkan keberkesanan reka bentuk alat pelindung aerosol yang telah dihasilkan. Halaju zarah yang terhasil dalam simulasi ini tinggi pada awal simulasi. Selepas mengenai bahagian dinding alat pelindung, halaju zarah berkurang tetapi lebih tinggi daripada hasil simulasi daripada kedua-dua reka bentuk yang lainnya dan bergerak ke arah salur keluar. Corak zarah yang terhasil adalah tidak sekata dan rawak seperti rekabentuk kedua dan menunjukkan kepadatan zarah pada bahagian tengah alat pelindung aerosol iaitu berdekatan dengan salur masuk zarah.

Rajah 6 pula menunjukkan pandangan sisi hasil simulasi rekabentuk ketiga-tiga pelindung. Simulasi pada ketiga-tiga rekabentuk menikut pandangan sisi dalam Rajah 6 menunjukkan penyebaran atau penyerakan cecair aerosol tertumpu kepada bahagian hadapan pelindung. Oleh itu, kadar aerosol yang keluar daripada salur keluar di bahagian hadapan tersebut akan menjadi tinggi dan aerosol yang terkeluar itu akan terdedah kepada doktor gigi. Berdasarkan pandangan sisi, Pelindung A dalam Rajah 6(a) menunjukkan corak halaju serakan berbeza berbanding Pelindung B dan Pelindung C.

Berdasarkan Rajah 6(b) dan 6(c), hasil simulasi menunjukkan kadar penyebaran aerosol yang tinggi pada bahagian hadapan reka bentuk Pelindung B dan Pelindung C. Oleh itu, kadar pengeluaran pada bahagian hadapan juga akan tinggi. Kadar pengeluaran yang tinggi pada bahagian tersebut akan meningkatkan penyebaran aerosol pada doktor gigi yang merawat. Perbezaan reka bentuk kedua dan ketiga iaitu permukaan atas reka bentuk ini yang bersudut ke dalam sebanyak 10° membantu mengelakkan kadar penyebaran aerosol ke arah bahagian hadapan reka bentuk alat pelindung. Justeru itu, ia mengurangkan kadar pengeluaran melalui salur keluar di hadapan reka bentuk dan doktor gigi yang merawat kurang terdedah dengan penyebaran aerosol yang terhasil daripada dalam alat pelindung.

Umumnya, berdasarkan hasil simulasi ketiga-tiga reka bentuk pelindung aerosol, ia menunjukkan keberkesanan setiap reka bentuk terhadap penyebaran aerosol terhadap jururawat iaitu pasukan pergigian semasa berlakunya penjaan aerosol. Dari segi nilai rawak halaju aliran jurus (*velocity streamline*) penyebaran cecair aerosol atau bendalir bagi ketiga-tiga rekabentuk, terdapat perbezaan yang agak sedikit, iaitu hanya 0.54% antara Pelindung B dengan Pelindung A, dan 0.27% antara Pelindung C dan Pelindung A. Berdasarkan hasil simulasi, reka bentuk

ketiga iaitu Pelindung C mempunyai keberkesanan pembendungan serakan aerosol yang baik berbanding reka bentuk kedua (Pelindung B) dan pertama (Pelindung A).

Selain daripada itu, perbandingan juga dibuat pada aspek ergonomik. Ross (2016) menekankan faedah prinsip ergonomik dalam mereka bentuk persekitaran profession pergigian yang mencabar dari segi fizikal dan teknikal untuk menyokong amalan kerja yang selamat. Beberapa kajian lain juga menekankan kepada keperluan kesedaran dalam menyediakan rekabentuk yang ergonomik dalam amalan pergigian bagi mengelakkan masalah otot rangka atau muskuloskeletal (Das et al. 2018; Gupta et al. 2014).

Berdasarkan reka bentuk yang telah dihasilkan, reka bentuk alat pelindung aerosol ketiga mematuhi aspek ergonomik yang diperlukan pada alat pelindung aerosol. Penggunaan tirai plastik lutsinar menjadikan pergerakan pasukan pergigian tidak terhad di samping mengurangkan kadar resapan aerosol berbanding reka bentuk peranti pelindung aerosol pertama. Perbandingan antara reka bentuk perisai aerosol kedua dan ketiga memfokuskan pada sudut yang telah direka pada bahagian hadapan perisai. Penambahan sudut di bahagian hadapan memberikan lebih keselesaan kepada pasukan pergigian semasa rawatan kerana ia dapat memberi lebih ruang kepada ahli pasukan rawatan pergigian terutamanya doktor gigi. Oleh itu, reka bentuk peranti pelindung aerosol ketiga adalah reka bentuk terbaik berbanding reka bentuk pertama dan kedua.

KESIMPULAN

Kajian ini menyoroti risiko penularan virus melalui aerosol dalam rawatan pergigian dan kepentingan mengembangkan peranti pelindung yang efektif. Melalui tinjauan dan temu bual, maklum balas diperoleh daripada pasukan pergigian tentang kesesuaian peranti pelindung aerosol. Dengan menggunakan perisian Autodesk Inventor dan ANSYS Workbench, tiga reka bentuk peranti pelindung aerosol dinilai untuk keberkesanannya. Hasil menunjukkan ketiga-tiga reka bentuk mampu membendung penyebaran aerosol, dengan Pelindung B dan C menonjol sebagai yang paling efektif. Fokus juga diberikan pada aspek ergonomik, di mana Pelindung C menunjukkan ciri-ciri yang baik. Kajian ini memperlihatkan bahawa peranti pelindung aerosol tidak hanya penting dalam melindungi pasukan pergigian dari penularan, tetapi juga boleh digunakan dalam bidang perubatan lain untuk membendung penyebaran aerosol semasa rawatan. Terdapat beberapa cadangan yang boleh dibuat pada masa hadapan untuk kajian reka bentuk alat pelindung aerosol. Pertama, kajian yang teliti perlu dilakukan dalam pemahaman perisian ANSYS Workbench untuk mendapatkan hasil simulasi yang lebih tepat dengan

menambahbaik rekabentuk bahagian hadapan dari pelbagai arah. Kedua, tinjauan hendaklah dijalankan dengan lebih kerap untuk mendapatkan data tentang aspek ergonomik dalam situasi penjagaan pergigian. Terakhir, kajian tentang proses pembuatan peralatan pelindung perlu dilakukan untuk mendapatkan proses yang memberikan hasil yang tidak menjejaskan kualiti peralatan pelindung aerosol. Selain itu, walaupun kajian ini memberikan pemahaman yang penting mengenai keberkesanan peranti pelindung aerosol dalam membendung penyebaran aerosol semasa rawatan pergigian, terdapat beberapa limitasi dalam reka bentuk kajian yang perlu diambil kira. Kajian ini mungkin terhad kepada persekitaran simulasi dan mungkin tidak mencerminkan sepenuhnya keadaan sebenar semasa rawatan pergigian. Ini termasuk faktor-faktor seperti aliran udara semasa prosedur pergigian yang sebenar, kehadiran pesakit yang berbeza-beza, dan keadaan persekitaran klinik yang sebenar. Oleh itu, kajian lanjutan yang mengambil kira faktor-faktor ini serta melibatkan ujian dalam keadaan sebenar adalah penting bagi memastikan bahawa peranti pelindung aerosol yang dihasilkan benar-benar berkesan dalam mengurangkan risiko penyebaran aerosol semasa rawatan pergigian.

PENGHARGAAN

Kajian ini dibiayai oleh Universiti Kebangsaan Malaysia di bawah Skim Geran Pengurusan Jabatan Kejuruteraan Mekanikal dan Pembuatan serta Fakulti Pergigian (DD-2021-002).

PENGISYTIHARAN KEPENTINGAN BERSAING

Tiada.

RUJUKAN

- An, N., Yue, L. & Zhao, B. 2020. Cognition Droplets and aerosols in dental clinics and prevention and control measures of infection. *E* 55(4): 223–228.
- Becker, K., Brunello, G., Gurzawska-Comis, K., Becker, J., Sivoletta, S., Schwarz, F. & Klinge, B. 2020. Dental care during COVID-19 pandemic: Survey of experts' opinion. *Clinical Oral Implants Research* 31(12): 1253–1260.
- Chimakurthi, S.K., Reuss, S., Tooley, M. & Scampoli, S. 2018. ANSYS Workbench System Coupling: a state-of-the-art computational framework for analyzing multiphysics problems. *engineering with Computers* 34: 385-411.
- Choudhary, S., Bach, T., Wallace, M.A., Stoeckel, D.C., Thornhill, M.H., Lockhart, P.B., Kwon, J.H., Liang, S.Y., Burnham, C.A.D., Biswas, P. & Steinkamp, H.M. 2022. Assessment of infectious diseases risks from dental aerosols in real-world settings. In *Open forum infectious diseases* (Vol. 9, No. 11, p. ofac617). US: Oxford University Press.
- Das, H., Motghare, V. & Singh, M. 2018. Ergonomics in dentistry: Narrative review. *Int J Appl Dent Sci* 4(4): 104-110.
- Dey, S., Tunio, M., Boryc, L.C., Hodgson, B.D. & Garcia, G.J.M. 2023. Quantifying strategies to minimize aerosol dispersion in dental clinics. *Exp Comput Multi Flo* 5: 290–303.
- Eden, E., Frencken, J., Gao, S., Horst, J. A. & Innes, N. 2020. Managing dental caries against the backdrop of COVID-19: approaches to reduce aerosol generation. *British Dental Journal* 229(7): 411–416.
- Fried, E. A., Zhou, G., Shah, R., Shin, D. W., Shah, A., Katz, D. & Burnett, G. W. 2020. Barrier Devices, Intubation, and Aerosol Mitigation Strategies: Personal Protective Equipment in the Time of Coronavirus Disease 2019. *Anesthesia and Analgesia* 132(1): 38–45.
- Gallagher, J. E., Johnson, I., Verbeek, J. H., Clarkson, J. E. & Innes, N. 2020. Relevance and paucity of evidence: a dental perspective on personal protective equipment during the COVID-19 pandemic. *British Dental Journal* 229(2): 121–124.
- Ge, Z. yu, Yang, L. ming, Xia, J. jia, Fu, X. hui & Zhang, Y. zhen. 2020. Possible aerosol transmission of COVID-19 and special precautions in dentistry. *Journal of Zhejiang University: Science B* 21(5): 361–368.
- Gupta, A., Bhat, M., Mohammed, T., Bansal, N. and Gupta, G., 2014. Ergonomics in dentistry. *International Journal Of Clinical Pediatric Dentistry* 7(1): 30.
- Kumar, M.S., He, R., Feng, L., Olin, P., Chew, H.P., Jardine, P., Anderson, G.C. and Hong, J., 2023. Particle generation and dispersion from high-speed dental drilling. *Clinical oral investigations*, 27(9), pp.5439-5448.
- Ludovichetti, F.S., Signoriello, A.G., Stellini, E. & Mazzoleni, S., 2020. COVID-19, rules of conduct for dental care in children during pandemic. *Minerva Stomatologica* 69(6): 394-395.
- Malmgren, R., Välimaa, H., Oksanen, L., Sanmark, E., Nikuri, P., Heikkilä, P., Hakala, J., Ahola, A., Yli-Urpo, S., Palomäki, V. & Asmi, E. 2023. High-volume evacuation mitigates viral aerosol spread in dental procedures. *Scientific Reports* 13(1): 18984.
- Onoyama, K., Matsui, S., Kikuchi, M., Sato, D., Fukamachi, H., Kadana, M., Funatsu, T., Maruoka, Y., Baba, K., Maki, K. & Kuwata, H. 2022. Particle size analysis in aerosol-generating dental procedures using laser diffraction technique. *Frontiers in Oral Health* 3: 804314.

- Rafeeq, R.A., Saleem, A.E., Nahidh, M., Kadhun, A.S., Al-Huwaizi, A.F., Marrapodi, M.M., Cicciù, M. & Minervini, G. 2023. Clinical management and infection control protocols during the COVID-19 pandemic: An online survey. *Technology and Health Care* Preprint: 1-14.
- Ross, A., 2016. Human factors and ergonomics for the dental profession. *Dental Update* 43(7):688-695.
- Sanmark, E., Oksanen, L.A.H., Rantanen, N., Lahelma, M., Anttila, V.J., Lehtonen, L., Hyvärinen, A. & Geneid, A., 2023. Aerosol generation during coughing: an observational study. *The Journal of Laryngology & Otology* 137(4): 442-447.
- Shahin, M.A.H., Sarhan, A., Rashid, A., Akram, M., Laila, U., Khalil, M.T., Zainab, R. & Solowski, G., 2023. Relations between Dentistry and COVID-19 Infections. *World Journal of Medical Microbiology* 22-26.
- Shang, L., Xu, J. & Cao, B., 2020. Fangcang shelter hospitals in COVID-19 pandemic: the practice and its significance. *Clinical Microbiology and Infection* 26(8): 976-978.
- Van der Weijden, F., 2023. Aerosol in the oral health-care setting: a misty topic. *Clinical Oral Investigations* 27(Suppl 1): 23-32.