

POTENSI SIRIH GADING (*Epipremnum aureum*) DAN LILI PARIS (*Chlorophytum comosum*) SEBAGAI SARANA FITROMEDIASI PM2.5 DI DALAM RUANGAN

Abiyyu Didar Haq^{1*}, Aulia Rizka Rahiem¹, Luh Ade Dita Rahayu¹

Abstrak

Sekitar 92% populasi dunia bernapas di tengah kualitas udara yang buruk karena tingginya konsentrasi polusi udara. Polusi udara berkontribusi sebanyak 43% dari seluruh penyakit dan kematian akibat penyakit paru obstruktif kronis (PPOK). *Particulate matter 2.5* (PM2.5) adalah komponen polusi udara yang paling berbahaya yang menyebabkan 4,2 juta kematian pada tahun 2017. PM2.5 bisa dibedakan menjadi PM2.5 dalam ruangan dan luar ruangan. PM2.5 luar ruangan memiliki rata-rata konsentrasi PM2.5 yang lebih tinggi sehingga tidak menutup kemungkinan mampu mempengaruhi PM2.5 dalam ruangan. Remediasi merupakan upaya untuk memulihkan area yang tercemar. Teknik remediasi yang sering digunakan saat ini adalah dengan menggunakan berbagai zat kimia untuk mengadsorpsi, memfiltrasi, ozonasi, fotolisis, dan biofiltrasi. Fitoremediasi merupakan remediasi yang menggunakan bantuan tanaman dengan memanfaatkan karakteristik permukaan tanaman serta mikroorganisme yang berada di dalam filosfer tanaman. Sirih gading (*Epipremnum aureum*) dan lili paris (*Chlorophytum comosum*) terbukti memiliki karakteristik permukaan daun yang mampu mengakumulasi PM2.5 terutama PM2.5 dalam ruangan. Selain itu, mikroorganisme yang terdapat di dalam filosfer kedua tanaman tersebut diketahui memiliki kemampuan untuk melakukan detoksifikasi PM2.5. Mikroorganisme yang memiliki kemampuan untuk detoksifikasi pada *Epipremnum aureum* adalah *Aspergillus niger* dan *Aspergillus fumigatus* serta bakteri filum Firmicutes. Sedangkan pada *Chlorophytum comosum*, mikroorganisme yang sangat berperan adalah bakteri filum Proteobacteria.

Kata Kunci: Polusi Udara, PM2.5, Fitoremediasi, *Epipremnum aureum*, *Chlorophytum comosum*

¹Program Studi Pendidikan Dokter Fakultas Kedokteran Universitas Mataram

*email: abiyyudidarhaq@gmail.com

PENDAHULUAN

Data *World Health Organization* (WHO) menunjukkan penyakit respirasi masih menduduki peringkat 5 besar dari 10 jenis penyakit yang paling banyak menyebabkan kematian di dunia dengan penyakit paru obstruktif kronis (PPOK) sebagai peringkat ketiga dan disusul oleh infeksi saluran pernapasan bawah. Penyakit respirasi kronis dikenal sebagai penyebab utama kematian dini pada kalangan dewasa di dunia, salah satunya

adalah PPOK.¹ Saat ini sebesar 92% dari populasi dunia bernapas di tengah kualitas udara yang buruk.² Polusi udara yang kerap menjadi isu lingkungan dunia berkontribusi besar terhadap peningkatan kejadian PPOK.³ Polusi udara juga berkaitan dengan penyakit respirasi lainnya, seperti infeksi saluran pernapasan akut, asma, penurunan fungsi paru, kanker paru, dan fibrosis pulmoner.² Polusi udara terdiri berbagai jenis polutan yang dilepaskan ke atmosfer, antara lain sulfur

dioksida (SO₂), karbon monoksida (CO), dan *particulate matter* (PM).² Berdasarkan laporan oleh WHO menyebutkan bahwa terdapat 3,8 juta kematian yang diakibatkan oleh polusi dalam ruangan atau *indoor*.⁴ Kontribusi polusi udara dalam kejadian penyakit respirasi antara lain berkontribusi sebesar 29% dari seluruh penyakit dan kematian akibat kanker paru, 17% dari semua penyakit dan kematian akibat infeksi saluran pernapasan akut, dan 43% dari seluruh penyakit dan kematian akibat PPOK.² Bahkan berdasarkan estimasi *Global Burden of Disease*, kematian yang diakibatkan oleh salah satu komponen polusi udara, PM dengan diameter aerodinamik <2,5 µm (PM_{2,5}), mencapai 4,2 juta jiwa atau sebesar 7,6% dari total kematian dunia. Selain itu, PM_{2,5} yang menempati posisi ke-5 sebagai faktor risiko utama kematian di dunia mengakibatkan lebih dari 103 juta disabilitas.⁴ Sebagai polutan utama yang berperan dalam meningkatkan keparahan polutan, PM_{2,5} memiliki ukuran yang kecil sehingga mudah berpindah dengan jarak yang jauh dan mudah terjadi penetrasi dalam pada tubuh manusia. Oleh sebab itu, PM_{2,5} sangat memengaruhi kualitas hidup manusia dan lingkungan atmosfer.⁵ Toksisitas PM_{2,5} diakibatkan oleh efek kombinasi dari partikel dan polutan beracun seperti komponen biologi (endotoksin, spora jamur, polen, virus, dan bakteri), *polycyclic aromatic hydrocarbons* (PAH), *volatile organic compounds* (VOC), dan logam berat.⁶ PM_{2,5} yang terinhalasi selanjutnya akan memicu terjadinya inflamasi pada saluran pernapasan dengan mengaktivasi interleukin (IL) 13 yang merupakan sitokin proinflamasi.⁶ Selain itu, sifat oksidatif PM_{2,5} memiliki dampak terhadap kesehatan kardiorespirasi.⁷

PM_{2,5} merupakan polutan utama bagi udara di luar ruangan.⁸ Namun, polusi udara di luar ruangan turut memengaruhi kualitas udara di dalam ruangan.⁹ Polutan yang terdapat di dalam ruangan berasal dari polutan luar ruangan, sumber polutan dalam ruangan, maupun kombinasi keduanya.¹⁰ Sumber polutan dalam ruangan dapat berupa kayu, bahan bakar biomassa, emisi yang dihasilkan pada saat memasak, dupa, lilin, rokok, printer, papan tulis kapur, obat anti serangga, hingga kosmetik. Perbandingan konsentrasinya PM_{2,5} antara dalam ruangan dengan luar ruangan dikenal sebagai rasio I/O yang turut dipengaruhi oleh tipe ventilasi ruangan dan sumber polutan dalam ruangan. Bangunan dengan ventilasi alami dengan sumber polutan yang minimal memiliki rata-rata rasio I/O mendekati satu yang menunjukkan konsentrasinya PM_{2,5} hampir sama dan polusi udara di luar ruangan dengan di dalam ruangan sangat berkorelasi. Jika terdapat lebih banyak sumber polutan dalam ruangan, rasio I/O dapat mencapai dua kali lipat dari ruangan tanpa sumber polutan.⁹ Dampak negatif yang ditimbulkan dari tingginya konsentrasinya PM_{2,5} di dalam ruangan diperburuk dengan tingginya aktivitas manusia di dalam ruangan dibandingkan di luar ruangan.¹⁰ Ventilasi ruangan masih diandalkan menjadi solusi utama yang diterapkan oleh masyarakat dalam menjaga kualitas udara.¹¹ Oleh sebab itu, diperlukan upaya yang lebih efisien untuk mengatasi tingginya angka polutan di dalam ruangan.

METODE

Literature review ini menggunakan berbagai jenis sumber, yaitu artikel di dalam jurnal ilmiah dan pedoman pemerintah maupun

instansi terkait. Pencarian artikel dilakukan di portal *online* publikasi jurnal, seperti *National Center for Biotechnology Information / NCBI* (ncbi.nlm.nih.gov) dan *Frontiers in Microbiology* (frontiersin.org). Selain itu, pencarian juga dilakukan di *Google Scholar* (scholar.google.com). Adapun kata kunci yang digunakan adalah “Air Pollutant”, “PM2.5”, “Remediation”, “Phytoremediation”, “*Epipremnum aureum*”, “*Chlorophytum comosum*”, “Phyllosphere AND PM2.5”.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Remediasi adalah suatu kegiatan yang bertujuan untuk memulihkan area yang tercemar polusi, bukan hanya memulihkan area pencemaran air dan udara.¹² Remediasi secara umum terbagi dua berdasarkan lokasi remediasinya, yakni remediasi in-situ dan ex-situ. Remediasi in-situ merupakan proses pemulihan langsung di tempat pencemaran tanpa perlu dilakukan pemindahan. Sedangkan remediasi ex-situ adalah proses pemulihan yang dilakukan di luar area pencemaran sehingga perlu dilakukan pemindahan.¹³

Sejauh ini, sudah terdapat beberapa teknik remediasi untuk mengontrol polusi udara. Teknik pertama merupakan teknik adsorpsi. Pada teknik ini polutan udara di adsorpsi oleh karbon aktif, namun teknik ini masih memiliki risiko polutan mengalami emisi ulang. Selanjutnya terdapat teknik filtrasi. Teknik filtrasi bekerja dengan cara udara dialirkan melewati material berserat yang dilapisi oleh substansi yang tebal untuk menyaring polutan. Teknik ketiga adalah ozonasi, yaitu polutan dioksidasi oleh generator ozon. Teknik ini jarang digunakan karena harga yang mahal dan memiliki probabilitas yang tinggi untuk terjadi emisi

ozon yang beracun. Teknik selanjutnya adalah fotolisis. Teknik ini bekerja dengan cara mengoksidasi polutan dengan mengaplikasikan UV saja atau dikombinasikan dengan *photocatalyst*. Selain mengurangi polutan, teknik ini juga mampu mengurangi patogen di udara. Selain itu, terdapat juga teknik biofiltrasi, yaitu polutan didegradasi dengan cara mengalirkan udara melewati koloni mikroba. Teknik ini sering digunakan karena ramah lingkungan dan juga ekonomis. Selanjutnya terdapat teknik oksidasi enzim, yaitu polutan didegradasi oleh enzim dengan cara mengubah fase gas emisi menjadi fase air. Teknik terakhir untuk remediasi udara adalah *botanical purification*. Teknik ini bekerja dengan cara mendegradasi polutan oleh mikroba pada tumbuhan dengan cara udara dialirkan lewat tanah atau langsung pada tumbuhan.¹⁴

Berbagai alat sudah dikembangkan untuk menanggulangi masalah polusi udara khususnya PM 2.5. Alat-alat ini dapat digunakan pada kegiatan sehari-hari untuk meminimalisir polusi udara yang dihasilkan. Salah satu alat yang sudah lumrah digunakan oleh masyarakat adalah alat pembersih udara *portable* atau *portable air cleaner*. *Air cleaner* yang efektif biasanya adalah yang mengandung HEPA (*high-efficiency particulate air*). *Air cleaner* banyak digunakan masyarakat umum karena selain harga yang terjangkau, alat ini cukup efektif dalam mengurangi polusi udara dalam ruangan khususnya PM 2.5.¹⁵ Beberapa penelitian telah membuktikan efisiensi dari penggunaan *air cleaner* ini. Pada penelitian yang dilakukan di Shanghai, China, *air purification* dapat menurunkan konsentrasi PM 2.5 hingga 57% dalam 48 jam dalam kondisi ruangan tertutup.¹⁶ Bahkan pada penelitian lain

disebutkan bahwa *air cleaner* dapat menurunkan konsentrasi PM 2.5 hingga 72.4 % jika ruangan dibiarkan semalaman.¹⁷

Selain portable *air cleaner*, alat lain yang bisa digunakan adalah *exhaust filter* atau filter pada knalpot kendaraan. Penelitian membuktikan bahwa penggunaan filter pada knalpot kendaraan dapat mengurangi konsentrasi pengeluaran partikel polusi.¹⁸ Pada kendaraan dengan mesin diesel juga digunakan filter pada mesinnya yang dikenal sebagai *Diesel Particulate Filter* (DPF). DPF ini sudah dibuktikan mampu mengurangi pengeluaran DPM (*Diesel Particulate Matter*) hingga 90%.¹⁹ Selain filter pada knalpot, pemakaian filter juga bisa digunakan untuk menyaring udara dalam kabin kendaraan. Pada penelitian, ditemukan bahwa pemakaian *in-cabin filter* dapat mengurangi konsentrasi PM 2.5 hingga 75%.²⁰

Selain alat-alat diatas, beberapa kebiasaan sehari-hari juga bisa diterapkan untuk mengurangi polusi dan mendukung proses remediasi udara. Salah satu yang sudah lumrah diterapkan masyarakat adalah peralihan dari kompor tradisional yang menggunakan bahan bakar kayu menjadi kompor elektrik atau berbahan bakar gas (LPG). Penggunaan kompor tradisional menghasilkan polutan lebih tinggi (seperti CO dan *particulate matter*) dibandingkan kompor gas atau elektrik. Penggunaan kompor non-tradisional ini telah dibuktikan mampu mengurangi setidaknya 40% pengeluaran PM 2.5.²¹

Ventilasi udara yang baik di rumah juga mampu mengurangi konsentrasi PM 2.5 dalam ruangan. Sebagai contoh, penggunaan obat nyamuk bakar dengan membuka jendela mampu mengurangi konsentrasi PM 2.5 hingga 84% jika ditambah dengan membuka pintu,

pengurangan konsentrasi PM 2.5 dalam ruangan mampu mencapai 96%.²² Ventilasi yang baik juga diperlukan pada ruang dapur. Asap hasil pembakaran memproduksi banyak partikel-partikel berbahaya. Dengan mengatur ventilasi yang baik ketika memasak di dalam ruangan, mampu mengurangi konsentrasi partikel polutan hingga 98%.²³

Penggunaan masker juga bisa membantu untuk mengurangi terhirupnya partikel berbahaya. Penggunaan masker sudah biasa digunakan masyarakat untuk kegiatan sehari-hari khususnya kegiatan luar ruangan. Penggunaan jenis masker yang paling sering digunakan adalah masker kain. Masker kain dipilih karena lebih murah dan bisa digunakan ulang. Masker kain efektif menghalau partikel polusi udara mulai dari 39% hingga 65%. Sedangkan jenis masker lain, yakni bedah dan N95 mampu menghalau partikel >65% bahkan untuk jenis masker N95 mampu menghalau partikel hingga mencapai 92%.²⁴

KONSEP FITOREMEDIASI

Fitoremediasi merupakan suatu istilah yang menggambarkan sekumpulan teknologi yang berfungsi untuk membersihkan atau menampung kontaminan di tanah, air tanah, air permukaan, atau udara dengan menggunakan tanaman.²⁵ Fitoremediasi mampu berfungsi dikarenakan kerjasama dari dua hal, yaitu karakteristik dari permukaan tanaman dan mikroba yang berada di filosfer tanaman tersebut.^{26,27} Permukaan tanaman, terutama daun, merupakan hal kunci yang mempengaruhi kemampuan fitoremediasi suatu tanaman. Permukaan daun yang kasar akan mampu menangkap semakin banyak PM2.5 dari udara.²⁶ Hal ini akan berperan sebagai wadah bagi PM2.5 sehingga durasinya

untuk tersuspensi di udara akan berkurang. Sebenarnya, peran wadah ini juga mampu untuk dilaksanakan oleh segala benda yang memiliki permukaan yang kasar lainnya.²⁸ Namun, yang membuat fitoremediasi lebih efektif dalam membersihkan udara dibandingkan dengan permukaan benda mati adalah fakta bahwa tanaman memiliki filosfer.

Filosfer merupakan organ tanaman yang berada di atas permukaan tanah yang menjadi habitat atau telah terkolonisasi oleh berbagai bakteri dan jamur.^{29,30} Dalam melakukan fitoremediasi PM2.5, peran mikroorganisme yang terdapat di dalam filosfer adalah untuk melakukan detoksifikasi PM2.5 dengan melakukan degradasi, transformasi, atau sekuestrasi.²⁷ Mikroorganisme yang berada di filosfer akan melakukan simbiosis mutualisme dengan tanaman dikarenakan pada kebanyakan mikroorganisme yang mendominasi filosfer, molekul hasil degradasi ataupun transformasi dari mikroorganisme ini akan sangat bermanfaat bagi tumbuhan inangnya.^{27,30} Selain berfungsi dalam proses detoksifikasi, mikroorganisme yang ada di dalam filosfer juga dikenal memiliki sifat antioksidan yang sangat tinggi. Seperti yang sudah dijelaskan sebelumnya, PM2.5 memiliki sifat sebagai radikal bebas sehingga mampu menghasilkan *Reactive Oxygen Species* (ROS). Hal ini membuat PM2.5 yang tertangkap di tanaman tersebut menjadi relatif lebih ramah lingkungan dibanding sebelumnya.²⁷

SIRIH GADING (*Epipremnum aureum*)

Epipremnum aureum diketahui memiliki tekstur daun yang paling baik untuk menangkap PM2.5 dalam ruangan dibanding dengan tanaman hias.²⁶ Saat dilihat menggunakan mikroskop fluoresen, daun

Epipremnum aureum terlihat memiliki tekstur permukaan yang kasar sehingga memungkinkan PM2.5 untuk melekat dipermukaannya. Selain itu, terdapatnya lapisan lilin di permukaannya juga sangat mendukung penangkapan PM2.5 pada *Epipremnum aureum*.²⁷

Penelitian mengenai fitoremediasi PM2.5 yang menggunakan *Epipremnum aureum* menunjukkan bahwa *Epipremnum aureum* sangat efektif dalam menurunkan konsentrasi PM2.5 di dalam ruangan.²⁶ Konsentrasi PM2.5 yang sebelumnya adalah sebesar $250\mu\text{g}/\text{m}^3$ berhasil diturunkan menjadi $130\mu\text{g}/\text{m}^3$ hanya dalam waktu 20 menit. Sebagai perbandingan, konsentrasi akhir ruangan yang kosong setelah 20 menit adalah sebesar $160\mu\text{g}/\text{m}^3$ atau sebesar 25% lebih tinggi dibandingkan dengan adanya sirih gading.

Mikroorganisme di dalam filosfer *Epipremnum aureum* yang memiliki kemampuan untuk melakukan fitoremediasi PM2.5 adalah *Aspergillus niger* dan *Aspergillus fumigatus*.^{29,30} Kedua mikroorganisme tersebut berada di filosfer dalam jumlah yang cukup banyak untuk menghasilkan dampak yang signifikan



Gambar 1. Sirih gading (*Epipremnum aureum*)

terhadap konsentrasi PM2.5 di dalam ruangan. Selain kedua mikroorganisme tersebut, saat ini, terdapat beberapa penelitian yang membahas mengenai peran bakteri yang tergolong dalam filum Firmicutes terhadap fitoremediasi PM2.5.^{27,29}

LILI PARIS (*Chloropytum comosum*)

Chloropytum comosum diketahui memiliki bentuk daun yang sangat mendukung untuk mengakumulasi berbagai polutan udara terutama PM2.5.^{26,31} Bentuk yang dimaksud adalah bentuk yang tajam-tajam menyerupai jarum. Bentuk seperti jarum ini membuat luas permukaan dari tanaman ini sedikit lebih besar dibandingkan dengan tanaman lain dengan ukuran serupa namun dengan bentuk daun yang berbeda.^{26,29} Selain itu, sama seperti *Epipremnum aureum*, *Chloropytum comosum* juga memiliki lapisan lilin yang membantu akumulasi polutan udara terutama PM2.5.³¹

Mikroorganisme yang berada di dalam filusfer *Chloropytum comosum* yang mampu melakukan fitoremediasi terhadap PM2.5 adalah bakteri dengan filum Proteobacteria.^{27,29,31} Bakteri ini dilaporkan mampu melakukan detoksifikasi terhadap



Gambar 2. Lili paris (*Chloropytum comosum*)

PM2.5 yang terakumulasi di permukaan daun dengan cara melakukan degradasi serta juga berperan sebagai antioksidan terhadap PM2.5.^{27,29} Namun, rata-rata jumlah bakteri ini yang berada di filusfer *Chloropytum comosum* tidak sebanyak Firmicutes di dalam filusfer *Epipremnum aureum* dengan kemampuan detoksifikasi PM2.5 yang tidak jauh berbeda.³⁰

Bakteri tersebut memang keberadaannya tidak sebanyak bakteri fitoremediator pada *Epipremnum aureum*, namun hal lain yang membuat tanaman ini sama efektifnya dengan *Epipremnum aureum* dalam melakukan fitoremediasi adalah bentuk dan teksturnya yang sangat mendukung akumulasi PM2.5 dalam ruangan.^{28,31} Penelitian yang membandingkan bentuk daun dengan daya akumulasinya membuktikan bahwa daun yang berbentuk tajam tajam seperti jarum lebih efektif dalam mengakumulasi PM2.5 dibandingkan dengan bentuk lain.²⁹ Selain bentuknya, tekstur tanaman *Chloropytum comosum*, seperti yang sudah dibahas sebelumnya, juga sangat mendukung untuk akumulasi. Kombinasi bentuk dan tekstur yang sangat mendukung untuk akumulasi PM2.5 inilah yang mampu mengimbangi kurangnya jumlah bakteri fitoremediator yang berada di dalam filusfer *Chloropytum comosum* jika dibandingkan dengan *Epipremnum aureum*.

Penelitian yang menggunakan tanaman ini sebagai fitoremediator menunjukkan bahwa pada konsentrasi PM2.5 awal $250\mu\text{g}/\text{m}^3$, setelah 20 menit konsentrasinya turun menjadi $140\mu\text{g}/\text{m}^3$.²⁶ Angka ini memang lebih kecil dibandingkan dengan *Epipremnum aureum*. Namun, pada konsentrasi awal yang lebih tinggi sebesar $350\mu\text{g}/\text{m}^3$, *Chloropytum comosum* mampu menurunkan konsentrasi

PM2.5 jauh lebih efektif dibandingkan tanaman hias lain dengan konsentrasi setelah 20 menit sebesar $210\mu\text{g}/\text{m}^3$, sedangkan *Epipremnum aureum* hanya mampu menurunkan konsentrasinya menjadi $230\mu\text{g}/\text{m}^3$ dalam 20 menit.²⁶

KESIMPULAN

PM2.5 merupakan zat yang memberikan dampak negatif yang sangat besar bagi lingkungan dan segala yang tinggal di dalamnya. Terdapat berbagai solusi yang dilakukan untuk mengurangi dampak negatif dari PM2.5, salah satunya adalah fitoremediasi. Fitoremediasi tidak hanya berfungsi sebagai penampung PM2.5 namun juga mampu mendetoksifikasi PM2.5 yang terakumulasi di permukaan tanaman dengan bantuan mikroorganisme. Potensi *Epipremnum aureum* dan *Chlorophytum comosum* beserta mikroorganisme yang ada di filosofernya terbukti mampu mengurangi dampak negatif dari PM2.5 terutama di lingkungan rumah dan kantor.

DAFTAR PUSTAKA

1. Alexander G Chuchalin, Nikolai Khaltaev, Nikolay S Antonov, Dmitry V Galkin, Leonid G Manakov, Paola Antonini, Michael Murphy, Alexander G Solodovnikov, Jean Bousquet, Marcelo HS Pereira, Irina V Demko, "Chronic respiratory diseases and risk factors in 12 regions of the Russian Federation," *International Journal of COPD*, vol. 9, pp. 963-974, 2014.
2. A. D. Susanto, "Air Pollution and Human Health," *Medical Journal of Indonesia*, vol. 29, pp. 8-10, 2020.
3. Theresa R Prosser, Suzanne G Bollmeier, "Chronic Obstructive Pulmonary Disease," *Pharmacotherapy Self-Assessment Program*, vol. 6, pp. 1-15, 2013.
4. Dean E. Schraufnagel; John R. Balmes; Clayton T. Cowl; Sara De Matteis, Soon-Hee Jung; Kevin Mortimer; Rogelio Perez-Padilla; Mary B. Rice; Horacio Riojas-Rodriguez; Akshay Sood; George D. Thurston; Teresa To; Anessa Vanker; and Donald J. Wuebb, "Air Pollution and Noncommunicable Diseases," *Chest Journal*, vol. 155, pp. 409-416, 2019.
5. Yaolin Lin, Jiale Zou, Wei Yang, Chun-Qing Li, "A Review of Recent Advances in Research on PM2.5 in China," *International Journal of Environmental Research and Public Health*, vol. 15, no. 438, pp. 1-29, 2018.
6. Hetong Wang, Laiyu Song, Wenhui Ju, Xuguang Wang, Lu Dong, Yining Zhang, Ping Ya, Chun Yang, Fasheng Li, "The acute airway inflammation induced by PM2.5 exposure and the treatment of essential oils in Balb/c mice," *Scientific Report*, vol. 7, pp. 1-13, 2017.
7. Scott A Weichenthal, Krystal Godri-Pollitt, and Paul J Villeneuve, "PM2.5, oxidant defence and cardiorespiratory health: a review," *Environmental Health*, vol. 12, pp. 1-8, 2013.
8. Shreosi Sanyal, Thierry Rochereau, Cara Nichole Maesano, Laure Com-Ruelle, Isabella Annesi-Maesano, "Long-Term Effect of Outdoor Air Pollution on Mortality and Morbidity: A 12-Year Follow-Up Study for Metropolitan France," *International Journal of Environmental Research and Public Health*, vol. 15, no. 2487, pp. 1-8, 2018.
9. Nuno R Martin, Guilherme Carrilho Da Graca, "Impact of PM2.5 in indoor urban environments: A review," *Sustainable Cities and Society*, vol. 42, pp. 259-275, 2018.
10. Rizki Andre Handika, Driejana, "Polusi Udara dalam Rumah Sekitar Jalan Raya: Intrusi NO2 dari Transportasi Gangguan Pernapasan pada Penghuni Rumah," *Jurnal Teknik Lingkungan UNAND*, vol. 10, no. 2, pp. 119-132, 2013.
11. O. Seppanen, "Ventilation strategies for good indoor air quality and ene," *International Journal of Ventilation*, vol. 2, pp. 929-935, 2008.
12. E. Kalita and J. Baruah, "Environmental Remediation," in *Colloidal Metal Oxide Nanoparticles: Syntesis, Characterization, and Applications*, G. Korotchenkov, Ed., Tezpur, Elsevier, 2020.
13. S. Kuppusamy, T. Palanisamy, M. Megharaj, K. Vankateswalru and R. Naidu, "In-situ Remediation Approches for the Management of Contaminated Sites: A Comprehensif Review," in *Reviews of Enviromental Contamination and Toxicology*, vol. 236, Springer International Publishing, 2016.
14. S. Kuppusamy, M. Mallavarapu, T. Palanisami and R. Naidu, "Ex-situ remediation technologies for enviromental pollutants: A critical

- perspective," in *Reviews of Environmental Contamination and Toxicology*, vol. 236, Springer International Publishing, 2016.
15. Y. Yoda, K. Tamura, S. Adachi, N. Otani, S. F. Nakayama and M. Shima, "Effects of the Use of Air Purifier on Indoor Environment and Respiratory System among Healthy Adults," *International Journal of Environmental Research and Public Health*, no. 17, pp. 1-11, 2020.
 16. R. Chen, a. Zhao, H. Chen, Z. Zhao, J. Cai, C. Wang, C. Yang, H. Li, X. Xu, S. Ha, T. Li and H. Kan, "Cardiopulmonary Benefits of Reducing Indoor Particles of Outdoor Origin: a Randomized Double-Blind Crossover Trial of Air Purifiers," *HHS Public Access*, vol. 65, no. 21, pp. 2279-2287, 2015.
 17. X. Cui, F. Li, J. Xiang, L. Fang, M. K. Chung, D. B. Day, J. Mo, C. J. Weschler, J. Gong, L. He, D. Zhu, C. Lu, H. Han, Y. Zhang and J. (. Zhang, "Cardiopulmonary effects of overnight indoor air filtration in healthy non-smoking adults: A double-blind randomized crossover study," *Elsevier*, vol. 114, pp. 27-36, 2018.
 18. A. J. Lucking, M. Lundback, S. L. Barath, N. Mills, M. K. Sidhu, J. P. Langrish, N. A. Boon, J. Pourazar, J. J. Badimon, M. E. Gerlofs-Nijland, F. R. Cassee and C. Boman, "Particle Traps Prevent Adverse Vascular and Prothrombotic Effects of Diesel Engine Exhaust Inhalation in Men," *Journal of American Heart Association*, 2015.
 19. R. Prasad and V. R. Bella, "A Review on Diesel Soot Emission, its Effect and Control," *Bulletin of Chemical Reaction Engineering & Catalysis*, vol. 5, no. 2, pp. 69-86, 2010.
 20. J. D. Vande hey, H. Sonderfield, A. P. R. Jeanjean, R. Panchal, R. J. Leigh, M. A. Allen, M. Dawson and P. S. Monks, "Experimental and modelling assessment of a novel automotive cabin PM 2.5 removal system," *Aerosol Science and Technology*, vol. 52, no. 11, pp. 1249-1265, 2018.
 21. V. Muralidharan, T. E. Sussan, S. Limaye, K. Koehler, D. L. Williams, A. M. Rule, S. Juvekar, P. N. Breyse, S. Salvi and S. Biswal, "Field Testing of Alternative Cookstove Performance in a Rural Setting of Western India," *International Journal of Environmental Research and Public Health*, vol. 12, pp. 1773-1787, 2015.
 22. D. Salvi, S. Limaye, V. Muralidharan, J. Londhe, S. Madas, S. Juvekar, S. Biswal and S. Salvi, "Indoor particulate matter less than 2.5 microns in mean aerodynamic diameter (PM2.5) and Carbon Monoxide (CO) levels during the burning of mosquito coils and their association with respiratory health," *CHEST*, 2015.
 23. K. Grabow, D. Still and S. Bentson, "Test Kitchen studies of indoor air pollution from biomass cookstoves," *Energy for Sustainable Development*, vol. 17, pp. 458-462, 2013.
 24. K. M. Shakya, A. Noyes, R. Kallin and R. E. Peltier, "Evaluating the efficacy of cloth facemasks in reducing," *Journal of Exposure Science and Environmental Epidemiology*, pp. 1-6, 2016.
 25. Interstate Technology & Regulatory Council ITRC, "Phytotechnology Technical and Regulatory Guidance and Decision Trees, Revised," *Technical/Regulatory Guidance*, 2009.
 26. Y. Cao, F. Li, Y. Wang, Y. Yu, Z. Wang, X. Liu and K. Ding, "Assisted Deposition of PM2.5 from Indoor Air by Ornamental Potted Plants," *Sustainability*, vol. 11, 2019.
 27. N. Weyens, S. Thijs, R. Popek, N. Witters, A. Przybysz, J. Espenshade, H. Gawronska, J. Vangronsveld and S. W. Gawronski, "The Role of Plant-Microbe Interaction and Their Exploitation for Phytoremediation of Air Pollution," *Internation Journal of Molecular Sciences*, vol. 16, pp. 25576-25604, 2015.
 28. Y. Shi, Y. Ji, H. Sun, F. Hui, J. Hu, Y. Wu, J. Fang, H. Lin, J. Wang, H. Duan and M. Lanza, "Nanoscale characterization of PM2.5 airborne pollutants reveals high adhesiveness and aggregation capability of soot particles," *Scientific Reports*, vol. 5, 2015.
 29. X. Wei, S. Lyu, Y. Yu, Z. Wang, H. Liu, D. Pan and J. Chen, "Phylloremediation of Air Pollutants: Exploiting the Potential of Plant Leaves and Leaf-Associated Microbes," *Frontiers in Plant Science*, vol. 8, 2017.
 30. R. A. Ortega, A. Mahnert, C. Berg, H. Muller and G. Berg, "The plant is crucial: specific composition and function of the phyllosphere microbiome of indoor ornamentals," *Federation if European Microbiological society*, vol. 92, 2016.
 31. H. Gawronska and B. Bakera, "Phytoremediation of particulate matter from indoor air by *Chloropytum comosum* L. plants," *Air Quality Atmos Health*, vol. 8, pp. 265-272, 2015.