

## UJI FILTRASI *HEAT AND MOISTURE EXCHANGERS* (HME) DALAM MENYARING GAS FORMALDEHIDA

Jumanto<sup>1</sup>, Supangat<sup>2</sup>, Al Munawir<sup>3</sup>  
Universitas Jember<sup>1,2,3</sup>  
drsupangat@unej.ac.id<sup>2</sup>

### ABSTRAK

Penelitian ini bertujuan untuk menguji penggunaan filter *Heat and Moisture Exchangers* (HME) dalam memfilter *volatile organic compound* (formaldehida) yang dihasilkan dari asap bedah, efek samping dari penggunaan instrumen bedah berbasis listrik yang sangat berbahaya. Metode yang digunakan adalah metode deskriptif dengan jumlah sampel sebanyak 15 yang terbagi menjadi tiga kelompok yaitu HME1, HME2 dan HME3. Hasil penelitian menunjukkan bahwa filter HME1 memperoleh nilai formaldehida tertinggi sebesar 15,95 ppm dan terendah sebesar 10 ppm dengan nilai *mean* 12,99 ppm; filter HME2 dengan nilai formaldehida tertinggi yaitu 13,98 ppm, terendah 7,98 ppm dan angka *mean* sebesar 9,58 ppm; filter HME3 memperlihatkan angka formaldehida tertinggi sebesar 11,98 ppm dan terendah 4,99 ppm dengan angka *mean* sebesar 4,99 ppm. Simpulan, terdapat perbedaan jumlah rata-rata asap setelah diberikan tindakan metode modifikasi filter (HME1, HME2 dan HME3). Modifikasi filter tersebut dapat digunakan untuk menangkap/memfilter asap bedah.

Kata Kunci: Asap Bedah, *Electrosurgical Unit*, Filter HME, Formaldehida, Kanker Payudara

### ABSTRACT

*This study aims to examine the use of Heat and Moisture Exchangers (HME) filters in filtering volatile organic compounds (formaldehyde) produced from surgical fumes, a side effect of using hazardous electrical-based surgical instruments. The method used is the descriptive method with a total sample of 15, divided into three groups, namely HME1, HME2 and HME3. The results showed that the HME1 filter obtained the highest formaldehyde value of 15.95 ppm and the lowest of 10 ppm with a mean value of 12.99 ppm; HME2 filter with the highest formaldehyde value of 13.98 ppm, the lowest 7.98 ppm and the mean value of 9.58 ppm; the HME3 filter showed the highest formaldehyde value of 11.98 ppm and the lowest of 4.99 ppm with a mean number of 4.99 ppm. In conclusion, there is a difference in the average amount of smoke after being given the action of the filter modification method (HME1, HME2 and HME3). The modified filter can be used to capture/filter surgical fumes.*

Keywords: *Surgical Fumes, Electrosurgical Unit, HME Filter, Formaldehyde, Breast Cancer*

## PENDAHULUAN

Asap bedah merupakan efek samping dari pembedahan menggunakan *electrosurgical unit* (Liu et al., 2021). Konsentrasi asap bedah dalam kamar operasi dapat mengganggu kinerja tim bedah (York & Autry, 2018) dikarenakan bau asap bedah sangat menyengat, gangguan konsentrasi saat bekerja dan gangguan pandangan area insisi operasi (Van Gestel et al., 2020). Komposisi asap bedah terdiri dari bahan kimia dan biologis yang berdampak langsung terhadap kesehatan tim bedah adalah iritasi selaput mata, infeksi saluran pernafasan dan malignansi (Limchantra et al., 2019).

Komposisi asap bedah 95% adalah air, 5% bahan kimia dan biologis yang dapat dibawa terbang bersama asap bedah mengikuti pergerakan udara dalam kamar operasi (Barnes et al., 2018). Bahan kimia berbahaya yang mudah menguap *benzene, volatile organic compounds, polycyclic aromatic compounds, aldehydes, cresols, phenol, hydrogen cyanide, and carbon monoxide*. Bahan biologis baik hidup atau mati termasuk virus yang sangat berbahaya bagi kesehatan team bedah (Lee et al., 2018).

Asap bedah terbentuk ketika perangkat penghasil energi menaikkan suhu intraseluler jaringan hingga 100°C (212°F), menyebabkan penguapan jaringan dalam bentuk asap bedah (Mintz et al., 2020). Occupational Safety and Health Administration (OSHA) amerika mencatat jumlah tenaga kesehatan yang bekerja di lingkungan perioperatif lebih dari 500.000 terpapar asap bedah setiap tahun dan perawat perioperatif melaporkan dua kali kejadian masalah kesehatan yang berhubungan dengan pernapasan pada setiap tahunnya (Spruce, 2021).

*Heat and Moisture Exchangers* (HME) adalah sebuah alat filtrasi mekanik digunakan untuk memfiltrasi virus dan bakteri biasa digunakan pada mesin anestesi yaitu pada alat pernafasan pasien selama menjalani tindakan pembiusan (Dewi et al., 2020). Filter HME melindungi mesin anestesi dari kuantitas bakteri dan virus, penggunaan filter HME bisa digunakan di kamar operasi, ruang pulih sadar, *Intensive Care Unit* dan tempat lainnya membantu mengatasi permasalahan yang umumnya terkait dengan ventilasi mekanis pelembapan yang tepat untuk udara yang dihirup dan infeksi silang (Gillies et al., 2017).

Sejauh ini HME hanya dimanfaatkan sebagai agen filtrasi biologi (virus dan bakteri). Namun berbeda dengan pemanfaatan sebelumnya, pada penelitian ini HME diaplikasikan untuk melakukan filtrasi kimia. Peneliti melakukan pengujian terhadap HME untuk menyaring zat formaldehida yang terdapat pada asap bedah hasil dari menggunakan alat bedah berbasis listrik (*electrosurgical unit*). Studi ini perlu dilakukan mengingat saat ini tidak semua rumah sakit memiliki peralatan yang mampu mengurangi risiko paparan asap bedah. Oleh karena itu, pelaksanaan dan informasi yang dihasilkan pada penelitian ini ditujukan guna memberikan gambaran bahwa HME bisa digunakan sebagai pilihan alternatif yang terjangkau untuk menyaring bahan kimia berbahaya yang dihasilkan dari prosedur bedah yang dilakukan.

## METODE PENELITIAN

Metode yang digunakan adalah metode deskriptif dengan menganalisis sebanyak 15 sampel yang terbagi menjadi tiga kelompok yaitu HME 1, HME 2 dan HME 3. Pada penelitian ini digunakan sampel dari jaringan kanker payudara yang sudah terlepas dari tubuh pasien melalui operasi modifikasi radikal mastektomi. Jaringan kanker payudara yang digunakan hanya 1/3 bagian kanker dengan kriteria ukuran sampel panjang 10 cm, lebar 7 cm dan tinggi 5 cm. Selanjutnya sampel akan dilakukan intervensi menggunakan *electrosurgical unit* selama maksimal 10 menit. Asap bedah yang dihasilkan kemudian

ditangkap menggunakan *suction pump* dan langsung masuk ke dalam filter yang telah dimodifikasi menggunakan rangkaian filter HME1, HME2 dan HME3, sehingga didapatkan residu hasil filtrasi yang diukur berupa kadar formaldehida. Pengolahan data dilakukan menggunakan excel untuk mencari rumus kemampuan filtrasi dari HME.

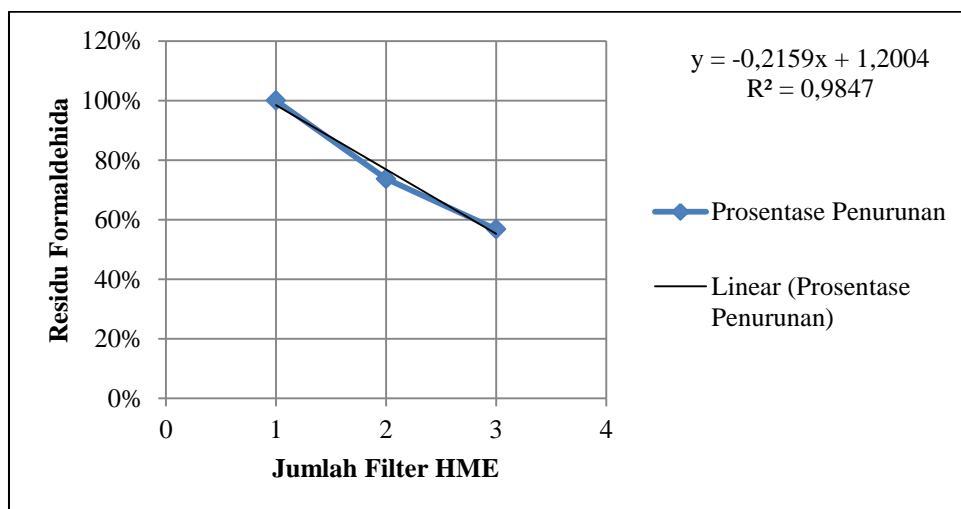
## HASIL PENELITIAN

Kemampuan filtrasi dari rangkaian modifikasi filter HME yang diuji pada sampel penelitian memperoleh data berupa kadar formaldehida seperti yang ditunjukkan pada tabel 1 berikut ini:

Tabel. 1  
Hasil Pengujian Filtrasi HME

Sampel	HME1	HME2	HME3
1	10,00	8,00	5,00
2	15,05	7,98	4,95
3	15,95	13,98	11,98
4	11,98	9,98	9,98
5	11,98	7,98	4,99
Rerata	12,99	9,58	7,38

Data Tabel 1 menunjukkan bahwa ada perbedaan jumlah rata-rata asap setelah diberikan tindakan metode modifikasi filter. Hasil filtrasi tertinggi ditunjukkan oleh modifikasi pada filter HME 3. Selanjutnya dari hasil tersebut dilakukan pengolahan data untuk memperoleh rumus kemampuan filtrasi HME dari data yang telah diperoleh (gambar 1). Kemampuan filtrasi HME bisa dikalkulasikan ke dalam rumus:  $y = -0,2159x + 1,2004$   $R^2 = 0,9847$ . Artinya residu akan bernilai 0 jika jumlah filtrasi HME yang dilakukan sebanyak 5,56 kali (pembulatan menjadi 6).



Gambar. 1  
Formulasi Kemampuan Filtrasi HME

## PEMBAHASAN

Sampel asap bedah yang dikumpulkan dari kanker payudara menggunakan *electrosurgical* unit memiliki konsentrasi VOC (*volatile organic compound*) yang sangat tinggi (Cheng et al., 2020). Bahan kimia formaldehida pada filter *heat and moisture exchanger* pertama nilainya cukup besar kemungkinan dapat disebabkan jenis jaringan kulit dan otot yang lebih banyak dilakukan intervensi *electrosurgical* unit. Rata-rata arus listrik atau voltase yang digunakan selama intervensi kanker payudara adalah 60 volt. Arus listrik 60 volt dapat membuat jaringan menjadi *blanching*, *sloughing* dan *denaturasi collagen*, voltase tersebut secara umum digunakan untuk pembedahan yang lain (Vilos, 2018).

Filter *heat and moisture exchanger* adalah sebuah alat mekanik murni dengan bahan *polypropylene* tanpa ada bahan lain dalam filter tersebut, yang difungsikan untuk memfilter bahan biologis yaitu bakteri dan virus. Filter *heat and moisture exchanger* memiliki berat 40 gram dan *dead space* 60 ml. Mekanisme filtrasi filter *heat and moisture exchanger* adalah *Brownian diffusion* yaitu *inertial impaction*, *interception*, *diffusion* dan *electrostatic attraction* (Tcharkhtchi et al., 2021).

*Inertial impaction* adalah mekanisme yang mendominasi untuk menangkap aerosol berukuran mikron. Efisiensi *Inertial impaction* tergantung pada besar ukuran partikel dan kecepatan gerakan, besaran partikel dan sangat berpengaruh pada tahap ini (Zhang et al., 2018). Intersepsi tidak secara eksplisit ditentukan oleh kecepatan partikel, tetapi lebih jelas ketika ukuran partikel berkurang. Perbedaan penting antara intersepsi dan impaksi inersia adalah besaran partikel, pergerakan partikel dan untuk intersepsi adalah zat penyaring/filter memotong partikel. Gerakan *diffusion* Brownian membuat partikel memantul ke media filter, ini adalah mekanisme yang paling efektif untuk menangkap partikel dengan ukuran kurang dari 0,2  $\mu$ . Gerakan partikel yang tidak normal meningkatkan kemungkinan tumbukan antara partikel dengan serat filter (Tcharkhtchi et al., 2021).

Formaldehida merupakan bahan kimia bentuk gas tidak berwarna dengan sifat mudah menguap dan memiliki 500 kali lebih kecil dari 0,1  $\mu$  (Soltanpour et al., 2022). Kemampuan filtrasi filter *heat and moisture exchanger* 99,99% yang berarti masih ada kebocoran dari filter tersebut (Dewi et al., 2020). Gas formaldehida ukurannya sangat kecil, sehingga kebocoran filtrasi *heat and moisture exchanger* sangat mungkin terjadi. Penggunaan perangkat pembangkit energi (*electrosurgical* unit) selama operasi menimbulkan efek samping yaitu bahan kimia mengandung zat beracun dan *biohazardous* yang menimbulkan risiko bagi anggota tim perioperatif dan pasien (Fencl, 2017). Asap bedah juga mengandung banyak senyawa gas yang diketahui menyebabkan kanker, tingkat senyawa penyebab kanker yang tidak aman telah ditemukan dalam asap bedah (Limchantra et al., 2019).

Paparan kronis formaldehida melalui pencemaran lingkungan yaitu polusi udara dalam ruangan menimbulkan risiko kesehatan yang serius. Studi pada manusia telah menunjukkan bahwa paparan formaldehida melalui inhalasi dikaitkan dengan gejala pernapasan, serta iritasi mata, hidung, dan tenggorokan (Soltanpour et al., 2022; Tokuda et al., 2020). Sistem ventilasi aliran udara laminar dirancang untuk mengurangi kontaminasi udara selama proses pembedahan (Sabherwal et al., 2020). *Smoke evacuator* merupakan alat satu-satunya pada saat ini yang dapat digunakan untuk mengurangi asap bedah, yang secara empiris terbukti secara klinis dapat mengurangi paparan kimia selama proses pembedahan (Liu et al., 2020).

Filter HME sejauh ini hanya dimanfaatkan sebagai agen filtrasi biologi untuk virus dan bakteri. Akan tetapi pada penelitian lain disebutkan bahwa filter HME juga berpotensi untuk dapat digunakan dalam mengurangi nilai ambang baku bahan kimia yang mudah menguap VOC (*volatile organic compound*) termasuk formaldehida. Filter ini dapat dimodifikasi untuk terapi aerosol dengan memanfaatkan *suction pump* (Plotnikow et al., 2018).

Hasil temuan penelitian menunjukkan bahwa nilai formaldehida yang diperoleh setiap filter HME sangat bervariasi. Kemungkinan penyebabnya adalah teknik pengambilan asap bedah secara manual, tergantung dari tingkat konsentrasi tim selama proses operasi dan posisi kanula *suction pump* yang menempel pada ujung elektroda aktif tidak sepenuhnya menempel, sehingga kemungkinan ada asap bedah yang tidak tertangkap. Pengaruh lain nilai formaldehida kemungkinan dapat disebabkan oleh jenis jaringan yang dilakukan tindakan operasi. Nilai formaldehida kulit, otot dan lemak memiliki nilai yang berbeda-beda (Mintz et al., 2020).

Kondisi saat pengumpulan data penelitian yang mungkin mempengaruhi hasil penelitian adalah peneliti tidak menggunakan kontrol. Kontrol dalam penelitian diperlukan guna melihat hasil sebelum penelitian dan sesudah penelitian, sehingga benar-benar didapatkan hasil yang nyata. Namun secara umum, penelitian ini menunjukkan bahwa filter HME yang sedianya hanya digunakan sebagai agen filtrasi biologi mampu digunakan untuk menyerap bahan kimia yang mudah menguap seperti formaldehida. Pada penelitian ini juga ditemukan bahwa modifikasi terbaik filter HME yang digunakan untuk penyerapan formaldehida ditunjukkan pada rangkaian modifikasi filter HME 3.

## SIMPULAN

Kuantitas formaldehida pada pembedahan kanker payudara menggunakan modifikasi filter HME1 belum menghasilkan tingkat penurunan formaldehida. Hal ini disebabkan karena filter pertama menerima paparan langsung asap bedah dengan konsentrasi formaldehida yang belum terfilter. Namun, adanya modifikasi filter HME dengan tiga rangkaian membuat filter ini dapat digunakan untuk menangkap/memfilter asap bedah.

## SARAN

Penelitian memiliki keterbatasan pada sampel penelitian, sehingga perlu dilakukan penelitian lanjutan dengan sampel yang lebih besar. Penggunaan filter HME bisa digunakan sebagai alternatif penggunaan filter pada kamar operasi dengan harga yang lebih terjangkau sebagai upaya preventif terhadap dampak dari zat formaldehida yang dihasilkan.

## DAFTAR PUSTAKA

- Barnes, S., Twomey, C., Carrico, R., Murphy, C., & Warye, K. (2018). OR Air Quality: Is It Time to Consider Adjunctive Air Cleaning Technology? *AORN Journal*, *108*(5), 503–515. <https://doi.org/10.1002/aorn.12391>
- Cheng, J., Niu, X., Zhang, R., Zhu, X., Lu, S., Zhou, B., & Li, X. (2020). Experimental Study on Influence of Personnel Activity and Surgical Smoke on Indoor Environment Inside Clean Operating Room. *International Journal of Ventilation*, *20*(1), 50–64. <https://doi.org/10.1080/14733315.2019.1704539>
- Dewi, F. H., Purwoko, P., & Siwi, G. N. (2020). *Heat and Moisture Exchanging Filter*

- pada Pasien COVID-19 yang Menjalani Sectio Caesarea. *Majalah Anestesia & Critical Care*, 38(2), 131–141. <https://doi.org/10.55497/majanestricar.v38i2.192>
- Fencl, J. L. (2017). Guideline Implementation: Surgical Smoke Safety. *AORN Journal*, 105(5), 488–497. <https://doi.org/10.1016/j.aorn.2017.03.006>
- Gillies, D., Todd, D. A., Foster, J. P., & Batuwitige, B. T. (2017). Heat and Moisture Exchangers versus Heated Humidifiers for Mechanically Ventilated Adults and Children. *Cochrane Database of Systematic Reviews*, 2017(9). <https://doi.org/10.1002/14651858.CD004711.pub3>
- Lee, K., Choi, J. H., Lee, S., Park, H. J., Oh, Y. J., Kim, G. B., Lee, W. S., & Son, B. S. (2018). Indoor Levels of Volatile Organic Compounds and Formaldehyde from Emission Sources at Elderly Care Centers in Korea. *PLoS One*, 13(6), 1–15. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0197495>
- Limchantra, I. V., Fong, Y., & Melstrom, K. A. (2019). Surgical Smoke Exposure in Operating Room Personnel: A Review. *JAMA Surgery*, 154(10), 960-967. <https://doi.org/10.1001/jamasurg.2019.2515>
- Liu, N., Filipp, N., & Wood, K. B. (2020). The Utility of Local Smoke Evacuation in Reducing Surgical Smoke Exposure in Spine Surgery: A Prospective Self-Controlled Study. *The Spine Journal*, 20(2), 166–173. <https://doi.org/10.1016/j.spinee.2019.09.014>
- Liu, Y., Zhao, M., Shao, Y., Yan, L., & Zhu, X. (2021). Chemical Composition of Surgical Smoke Produced during the Loop Electrosurgical Excision Procedure when Treating Cervical Intraepithelial Neoplasia. *World Journal of Surgical Oncology*, 19(1), 1-8. <https://doi.org/10.1186/s12957-021-02211-8>
- Mintz, Y., Arezzo, A., Boni, L., Baldari, L., Cassinotti, E., Brodie, R., Uranues, S., Zheng, M. H., & Fingerhut, A. (2020). The Risk of COVID-19 Transmission by Laparoscopic Smoke May Be Lower Than for Laparotomy: A Narrative Review. *Surgical Endoscopy*, 34(8), 3298–3305. <https://doi.org/10.1007/s00464-020-07652-y>
- Plotnikow, G. A., Accoce, M., Navarro, E., & Tiribelli, N. (2018). Humidification and Heating of Inhaled Gas in Patients with Artificial Airway. A Narrative Review. *Revista Brasileira de Terapia Intensiva*, 30(1), 86–97. <https://doi.org/10.5935/0103-507X.20180015>
- Sabherwal, S., Chaku, D., Mathur, U., Sangwan, V. S., Majumdar, A., Gandhi, A., Dubey, S., & Sood, I. (2020). Are High-Efficiency Particulate Air (HEPA) Filters and Laminar Air Flow Necessary in Operating Rooms to Control Acute Post-Operative Endophthalmitis? *Indian Journal of Ophthalmology*, 68(6), 1120–1125. [https://doi.org/10.4103/ijo.IJO\\_1493\\_19](https://doi.org/10.4103/ijo.IJO_1493_19)
- Soltanpour, Z., Mohammadian, Y., & Fakhri, Y. (2022). The Exposure to Formaldehyde in Industries and Health Care Centers: A Systematic Review and Probabilistic Health Risk Assessment. *Environmental Research*, 204(Pt B), 112094. <https://doi.org/10.1016/j.envres.2021.112094>
- Spruce, L. (2021). Back to Basics: Protection from Surgical Smoke 1.2 [www.aornjournal.org/content/cme](http://www.aornjournal.org/content/cme). *AORN Journal*, 108(1), 24-32. <https://doi.org/10.1002/aorn.12273>
- Tcharkhtchi, A., Abbasnezhad, N., Seydani, M. Z., Zirak, N., Farzaneh, S., & Shirinbayan, M. (2021). An Overview of Filtration Efficiency Through the Masks: Mechanisms of the Aerosols Penetration. *Bioactive Materials*, 6(1), 106–122. <https://doi.org/10.1016/j.bioactmat.2020.08.002>

- Tokuda, Y., Okamura, T., Maruta, M., Orita, M., Noguchi, M., Suzuki, T., & Matsuki, H. (2020). Prospective Randomized Study Evaluating the Usefulness of a Surgical Smoke Evacuation System in Operating Rooms for Breast Surgery. *Journal of Occupational Medicine and Toxicology*, 15(1), 1–10. <https://doi.org/10.1186/s12995-020-00259-y>
- Van Gestel, E. A. F., Linssen, E. S., Creta, M., Poels, K., Godderis, L., Weyler, J. J., De Schryver, A., & Vanoirbeek, J. A. J. (2020). Assessment of the Absorbed Dose after Exposure to Surgical Smoke in an Operating Room. *Toxicology Letters*, 328, 45–51. <https://doi.org/10.1016/j.toxlet.2020.04.003>
- Vilos, G. A. (2018). Understanding and Practising Safe Electrosurgery in the Operating Room. *Journal of Obstetrics and Gynaecology Canada*, 40(10), 1337–1347. <https://doi.org/10.1016/j.jogc.2018.03.004>
- York, K., & Autry, M. (2018). Surgical Smoke: Putting the Pieces Together to Become Smoke-Free. *AORN Journal*, 107(6), 692–703. <https://doi.org/10.1002/aorn.12149>
- Zhang, X., Zhang, W., Yi, M., Wang, Y., Wang, P., Xu, J., Niu, F., & Lin, F. (2018). High-Performance Inertial Impaction Filters for Particulate Matter Removal. *Scientific Reports*, 8(1), 1-8. <https://doi.org/10.1038/s41598-018-23257-x>