

HUBUNGAN ANTARA JUMLAH ANGKA LEMPENG TOTAL DENGAN JUMLAH ENDOTOKSIN PADA AIR REVERSE OSMOSIS HEMODIALISA

Rita Yuliati^{1*}, Misbahul Subhi²

S1 Kesehatan Lingkungan, Stikes Widyaagama Husada Malang^{1,2}

*Corresponding Author : ritayuliati234@gmail.com

ABSTRAK

Air Reverse Osmosis merupakan komponen utama dalam proses hemodialisa yang berfungsi sebagai pelarut cairan dialisat. Kualitas mikrobiologi air Reverse Osmosis sangat berpengaruh terhadap keamanan pasien, terutama terkait dengan kontaminasi endotoksin yang berasal dari dinding sel bakteri Gram-negatif. Penelitian tahun 2025 ini bertujuan untuk menganalisis hubungan antara angka lempeng total (ALT) dan kadar endotoksin pada air Reverse Osmosis di unit hemodialisa Rumah Sakit X Kota Mojokerto. Penelitian ini menggunakan desain observasional analitik dengan pendekatan cross-sectional. Sampel diperoleh dari satu titik lokasi, yaitu air produk mesin Reverse Osmosis yang sudah siap dialirkan ke mesin hemodialisa. Pengambilan dilakukan selama lima hari berturut-turut. ALT diperiksa menggunakan metode tuang (pour plate), dan kadar endotoksin diukur dengan alat Nexgen menggunakan metode chromogenic LAL. Berdasarkan hasil uji Spearman, diperoleh nilai koefisien korelasi (r) sebesar $-0,518$ dengan nilai signifikansi (p) sebesar $0,125$ ($p > 0,05$), yang menunjukkan bahwa terdapat hubungan negatif sedang antara ALT dan kadar endotoksin, namun hubungan tersebut tidak signifikan secara statistik pada tingkat kepercayaan 95% ($\alpha = 0,05$). Pada penelitian ini, jumlah Angka Lempeng Total (ALT) tidak memengaruhi kadar endotoksin. Hal ini dapat terjadi karena kadar endotoksin tetap dapat terdeteksi meskipun bakteri Gram-negatif yang menghasilkan endotoksin tersebut sudah mati, atau bahkan hanya tersisa fragmen dinding selnya saja. Temuan ini menekankan pentingnya pemantauan dan pemeliharaan sistem distribusi air Reverse Osmosis secara berkala untuk menjaga kualitas mikrobiologinya dan mencegah berbagai sumber kontaminasi.

Kata kunci : angka lempeng total, endotoksin, hemodialisa, kualitas mikrobiologi, reverse osmosis

ABSTRACT

Reverse Osmosis (RO) water is a key component in the hemodialysis process, functioning as the solvent for dialysate fluid. The microbiological quality of Reverse Osmosis water significantly affects patient safety, especially concerning endotoxin contamination originating from the cell walls of Gram-negative bacteria. This 2025 study aims to analyze the relationship between total plate count (TPC) and endotoxin levels in Reverse Osmosis water used in the hemodialysis unit of Hospital X in Mojokerto City. This research employed an analytical observational design with a cross-sectional approach. The sample was obtained from a single location, specifically the product water outlet of the Reverse Osmosis machine that is ready to be delivered to the hemodialysis machine. Sampling was conducted over five consecutive days. TPC was tested using the pour plate method, and endotoxin levels were measured using the Nexgen device with the chromogenic LAL method. Based on the Spearman correlation test, the correlation coefficient (r) was 0.518 with a significance value (p) of 0.125 ($p > 0.05$), indicating a moderate positive correlation between TPC and endotoxin levels. However, the relationship was not statistically significant at a 95% confidence level ($\alpha = 0.05$). In this study, the total plate count (TPC) did not significantly influence endotoxin levels. This could be due to the fact that endotoxins can still be detected even if the Gram-negative bacteria that produce them are no longer alive, or if only fragments of their cell walls remain. These findings highlight the importance of monitoring and maintaining the Reverse Osmosis water distribution system regularly to preserve its microbiological quality and prevent various sources of contamination.

Keywords : reverse osmosis, total plate count, endotoxin, hemodialysis, microbiological quality

PENDAHULUAN

Penyakit ginjal kronik (PGK) merupakan masalah kesehatan global dengan prevalensi yang terus meningkat setiap tahun. Berdasarkan data Global Burden of Disease (GBD) tahun 2019, PGK berada pada peringkat ke-10 sebagai penyebab kematian terbanyak di dunia. Di Indonesia, Survei Kesehatan Indonesia (SKI) tahun 2023 menunjukkan bahwa PGK masih menjadi penyakit kronis yang memberikan beban signifikan terhadap pembiayaan sistem kesehatan. Hemodialisa menjadi salah satu terapi utama bagi pasien PGK stadium akhir. Dalam prosedur ini, air digunakan sebagai pelarut dalam cairan dialisat yang akan bersentuhan langsung dengan darah pasien melalui membran dialiser. Oleh karena itu, kualitas air harus memenuhi standar kemurnian yang tinggi. Air Reverse Osmosis (Reverse Osmosis water) dipilih karena mampu menghilangkan kontaminan biologis dan kimiawi melalui penyaringan membran semi-permeabel. Meskipun telah melalui proses pemurnian, air Reverse Osmosis masih berisiko mengalami kontaminasi mikrobiologi, terutama dari sistem distribusi air yang kurang optimal. Salah satu komponen berbahaya yang dapat muncul akibat kontaminasi ini adalah endotoksin — lipopolisakarida dari dinding sel bakteri Gram-negatif yang dapat memicu reaksi pirogenik, hipotensi, hingga peradangan sistemik yang berbahaya bagi pasien hemodialisa. Untuk menjamin keamanan, standar mutu mikrobiologi air Reverse Osmosis telah ditetapkan dalam ISO 23500-3 (2019), yaitu: Angka Lempeng Total (ALT) < 100 CFU/mL, Endotoksin $< 0,25$ EU/mL.

ALT mencerminkan jumlah mikroorganisme hidup dalam air dan menjadi indikator umum kualitas sistem distribusi. Jika ALT tinggi, maka risiko pelepasan endotoksin juga meningkat. Namun, keberadaan endotoksin tidak selalu bergantung pada jumlah ALT, karena endotoksin tetap dapat terdeteksi meskipun bakteri sudah mati atau hanya menyisakan fragmen dinding selnya. Beberapa studi menunjukkan bahwa peningkatan ALT dapat berasosiasi dengan kadar endotoksin yang tinggi, terutama di fasilitas dengan sistem distribusi air yang tidak optimal. Sayangnya, penelitian mengenai kualitas mikrobiologi air Reverse Osmosis dan kaitannya dengan endotoksin masih terbatas. Rumah Sakit X Kota Mojokerto merupakan salah satu fasilitas rujukan di Jawa Timur dengan beban pelayanan hemodialisa yang tinggi. Berdasarkan data rumah sakit, jumlah tindakan hemodialisa untuk pasien gagal ginjal meningkat sebesar 70,21% selama tahun 2022 hingga 2024. Lonjakan ini mengindikasikan perlunya perhatian terhadap aspek mutu layanan, termasuk kualitas air Reverse Osmosis yang digunakan dalam proses hemodialisa.

Berdasarkan latar belakang tersebut, penelitian ini dilakukan pada tahun 2025 dengan tujuan untuk menganalisis hubungan antara angka lempeng total dan kadar endotoksin pada air Reverse Osmosis di unit hemodialisa Rumah Sakit X Kota Mojokerto. Penelitian ini diharapkan dapat memberikan kontribusi terhadap peningkatan mutu pelayanan hemodialisa dan pencegahan risiko komplikasi pada pasien gagal ginjal kronik.

METODE

Penelitian ini merupakan penelitian observasional analitik dengan desain *cross-sectional*. Desain ini digunakan untuk mengetahui hubungan antara angka lempeng total (ALT) sebagai variabel bebas dan kadar endotoksin sebagai variabel terikat pada air Reverse Osmosis (RO) yang digunakan di unit hemodialisa Rumah Sakit X Kota Mojokerto. Pendekatan cross-sectional memungkinkan pengamatan terhadap dua variabel pada waktu yang sama, sehingga hubungan antarvariabel dapat diuji tanpa intervensi. Desain ini dipilih karena sesuai untuk mengidentifikasi potensi risiko mikrobiologis pada sistem air RO dan dampaknya terhadap keselamatan pasien, tanpa mengubah praktik operasional yang sedang berjalan. Pendekatan ini juga banyak digunakan dalam penelitian kesehatan lingkungan untuk menilai kualitas air pada

suatu waktu tertentu. Penelitian dilaksanakan di unit hemodialisa Rumah Sakit X Kota Mojokerto, yang memiliki kapasitas pelayanan lebih dari 10 pasien per hari dengan sistem distribusi air Reverse Osmosis sentral.

Waktu pelaksanaan dimulai pada awal Mei 2025, selama lima hari kerja berturut-turut. Lokasi dipilih karena rumah sakit ini merupakan salah satu rujukan regional untuk terapi hemodialisa dengan beban kerja tinggi dan sistem Reverse Osmosis yang beroperasi secara kontinu. Populasi target dalam penelitian ini adalah air Reverse Osmosis (RO) yang telah melalui proses pemurnian dan siap dialirkan ke mesin hemodialisa. Sampel diambil dari satu titik lokasi, yaitu produk air RO yang keluar dari mesin dan siap digunakan dalam proses dialisis. Pengambilan sampel dilakukan sebanyak 10 kali pada titik yang sama dengan dua pemeriksaan yaitu ALT dan Endotoksin, menggunakan teknik purposive sampling. Pengambilan dilakukan selama dua shift operasional (pagi dan siang), sehingga total adalah 20 sampel uji air Reverse Osmosis.

Data hasil pemeriksaan diinput ke perangkat lunak SPSS versi 25. Uji normalitas dilakukan dengan Shapiro-Wilk. Karena data tidak berdistribusi normal, maka digunakan uji korelasi Spearman Rank (rho) untuk mengetahui hubungan antara dua variabel. Nilai signifikansi ditetapkan pada $\alpha = 0,05$. Hasil korelasi dinyatakan signifikan jika $p < 0,05$. Penelitian ini telah memperoleh izin resmi dan disetujui oleh Komite Etik Penelitian Kesehatan Rumah Sakit X Kota Mojokerto. Penelitian tidak melibatkan intervensi langsung terhadap pasien sehingga tidak menimbulkan risiko etik. Seluruh data dan informasi lokasi sampel dijaga kerahasiaannya sesuai prinsip etika penelitian.

HASIL

Hasil Pemeriksaan Angka Lempeng Total dan Endotoksin

Pemeriksaan dilakukan terhadap 20 sampel air Reverse Osmosis (RO) yang terdiri dari 10 sampel Angka Lempeng Total (ALT) dan 10 sampel endotoksin, masing-masing diambil dari 10 titik distribusi di unit hemodialisa Rumah Sakit X Kota Mojokerto. Setiap 10 sampel tersebut dibagi menjadi dua shift, yaitu 5 sampel pada shift pagi dan 5 sampel pada shift siang. Hasil analisis laboratorium menunjukkan bahwa sebagian besar sampel masih berada dalam rentang nilai yang sesuai standar, namun terdapat beberapa sampel yang menunjukkan hasil melebihi ambang batas yaitu pada hasil sampel endotoksin.

Tabel 1. Hasil Analisis Laboratorium

Kategori	Nilai (CFU/mL)	ALT	Nilai Endotoksin (EU/mL)	Jumlah Sampel
Sesuai standar (aman)	≤ 100		$\leq 0,25$	17
Melebihi batas aman	> 100		$> 0,25$	3

Dari 20 sampel, seluruh nilai ALT menunjukkan hasil < 100 CFU/mL, yang berarti masih berada di bawah ambang batas sesuai standar ISO 23500-3 (2019). Sementara itu, untuk kadar endotoksin, tiga dari sepuluh sampel (30%) menunjukkan hasil melebihi batas ambang $> 0,25$ EU/mL, yaitu pada sampel dari shift Senin pagi (0,563 EU/mL), Selasa pagi (0,316 EU/mL), dan Rabu pagi (0,279 EU/mL). Temuan ini menunjukkan adanya potensi kontaminasi endotoksin pada beberapa titik distribusi air RO.

Hasil Uji Korelasi

Uji normalitas dengan Shapiro-Wilk menunjukkan bahwa data tidak terdistribusi normal ($p < 0,05$), sehingga analisis dilanjutkan menggunakan uji Spearman Rank. Hasil uji menunjukkan: Koefisien korelasi (ρ) = $-0,518$, Nilai signifikansi (p) = $0,125$. Nilai $p > 0,05$ menunjukkan bahwa tidak terdapat hubungan yang signifikan secara statistik antara angka

lempeng total dan kadar endotoksin. Korelasi negatif ($p = -0,518$) ini mengindikasikan bahwa semakin tinggi jumlah ALT tidak serta-merta diikuti dengan peningkatan endotoksin. Oleh karena itu, hipotesis alternatif (H_1) ditolak, dan hipotesis nol (H_0) diterima.

PEMBAHASAN

Hasil penelitian ini menguatkan temuan sebelumnya yang menyatakan bahwa kontaminasi mikroorganisme dalam sistem air RO dapat menyebabkan peningkatan kadar endotoksin (Cahyadi et al., 2016). Endotoksin berasal dari dinding sel bakteri Gram-negatif yang terlepas saat bakteri mengalami lisis. Oleh karena itu, keberadaan koloni mikroorganisme dalam jumlah tinggi menjadi indikator awal terhadap potensi kontaminasi endotoksin. Faktor penyebab tingginya ALT dan endotoksin dapat berasal dari: Pertumbuhan biofilm di pipa distribusi air RO, Tangki penyimpanan air yang tidak disanitasi secara rutin, Pemeliharaan sistem RO yang tidak konsisten, Penurunan efisiensi membran RO akibat umur pakai atau kontaminasi silang. Biofilm adalah lapisan mikroorganisme yang melekat pada permukaan dalam sistem pipa dan dapat melindungi bakteri dari proses pembersihan biasa (Azeredo et al., 2017). Sekalipun sistem RO mampu menyaring partikel halus dan mikroorganisme, bila terjadi penumpukan dan biofilm tidak dibersihkan, maka kontaminasi tetap dapat terjadi, terutama pada titik akhir distribusi.

Selain itu, hasil ini juga menunjukkan bahwa sistem RO di rumah sakit harus diperiksa tidak hanya pada satu titik, tetapi secara menyeluruh pada seluruh jaringan distribusi air. Hal ini penting karena kualitas air RO dapat menurun pada titik-titik yang jauh dari sumber utama, terutama jika tidak dilengkapi sistem desinfeksi UV atau pemeliharaan rutin. Penelitian ini juga menegaskan perlunya standarisasi jadwal pemeriksaan mikrobiologi air RO, minimal dilakukan sebulan sekali, dan disertai pemantauan dokumentasi sanitasi oleh petugas yang kompeten. Pelatihan petugas teknis RO dan penggunaan catatan pemeliharaan yang ketat dapat meminimalkan risiko kontaminasi. Secara umum, temuan ini memperkuat pentingnya pengawasan terpadu dan preventif terhadap mutu mikrobiologi air RO dalam pelayanan hemodialisa, guna mencegah insiden iatrogenik akibat endotoksin.

KESIMPULAN

Hasil pemeriksaan kualitas air reverse osmosis (RO) untuk keperluan hemodialisa menunjukkan bahwa nilai angka lempeng total (ALT) berkisar antara 1 hingga 18 koloni pembentuk unit (CFU/mL), sementara kadar endotoksin berkisar antara 0,100 hingga 0,563 endotoksin unit (EU/mL). Dari sepuluh sampel yang diperiksa, sebanyak tiga sampel (30%) menunjukkan kadar endotoksin melebihi ambang batas yang ditetapkan oleh standar, yaitu 0,25 EU/mL. Hal ini mengindikasikan adanya potensi kontaminasi endotoksin pada sebagian air RO yang digunakan, meskipun nilai ALT masih berada dalam batas yang diperkenankan. Analisis korelasi menggunakan uji Spearman menunjukkan adanya kecenderungan hubungan negatif sedang antara nilai ALT dan kadar endotoksin, dengan koefisien korelasi Spearman's rho sebesar $-0,518$. Namun demikian, hubungan ini tidak signifikan secara statistik ($p = 0,125$).

Hasil ini menunjukkan bahwa peningkatan atau penurunan jumlah bakteri hidup (ALT) tidak selalu sejalan dengan kadar endotoksin dalam air RO. Sebagian besar sampel berada dalam batas aman sesuai standar ISO dan Kementerian Kesehatan RI. Namun, ditemukannya beberapa sampel yang melebihi ambang batas menandakan adanya potensi risiko mikrobiologis yang perlu segera ditindaklanjuti. Temuan ini menekankan bahwa kualitas mikrobiologi air RO tidak hanya bergantung pada sistem pemurnian, tetapi juga pada Pemantauan dan pemeliharaan sistem distribusi, kebersihan pipa, dan keberadaan biofilm yang menjadi sumber kontaminasi laten.

UCAPAN TERIMAKASIH

Puji syukur penulis panjatkan ke hadirat Tuhan Yang Maha Esa atas terselesaikannya laporan Tugas Akhir ini. Penulis mengucapkan terimakasih kepada pembimbing I, pembimbing II, serta dosen penguji, atas bimbingan dan dukungan yang diberikan.

DAFTAR PUSTAKA

- Azeredo, J., Azevedo, N. F., Briandet, R., Cerca, N., Coenye, T., Costa, A. R., ... & Oliveira, R. (2017). *Critical review on biofilm methods*. *Critical Reviews in Microbiology*, 43(3), 313–351. <https://doi.org/10.3109/1040841X.2015.1114465>
- Cahyadi, I., Susilo, Y., & Nurhayati, N. (2016). Kajian kualitas air Reverse Osmosis (RO) pada unit hemodialisa rumah sakit. *Jurnal Kesehatan Lingkungan Indonesia*, 15(2), 71–78.
- Global Burden of Disease. (2019). *GBD Compare Data Visualization*. Institute for Health Metrics and Evaluation (IHME). Retrieved from <https://vizhub.healthdata.org/gbd-compare/>
- Gulati, M., & Ghosh, M. (2017). *Endotoxin contamination in dialysis water and its clinical implications*. *Indian Journal of Nephrology*, 27(2), 121–126.
- ISO. (2019). *ISO 23500-3: Preparation and quality management of fluids for haemodialysis and related therapies – Part 3: Water for haemodialysis and related therapies*. International Organization for Standardization.
- Kementerian Kesehatan Republik Indonesia. (2023). Peraturan Menteri Kesehatan Republik Indonesia Nomor 129 Tahun 2023 tentang Standar Pelayanan Hemodialisa. Jakarta: Kemenkes RI.
- Notoatmodjo, S. (2012). Metodologi penelitian kesehatan. Jakarta: Rineka Cipta.
- Riskesdas. (2018). Laporan Nasional Riset Kesehatan Dasar 2018. Badan Penelitian dan Pengembangan Kesehatan, Kementerian Kesehatan RI.
- Setyono, D., & Wahyuni, I. (2019). Uji mikrobiologi terhadap air hasil Reverse Osmosis di rumah sakit menggunakan metode ALT. *Jurnal Laboratorium Medik*, 5(1), 35–41.
- Syntyal, A., Adi, A.C., Atmaka, D.R. (2022). Pengaruh Penambahan Tepung Daun Kelor dan *Eucheuma Cottonii* serta Substitusi Tepung Tulang Ikan Lele pada Nugget Ayam Terhadap Daya Terima serta Kandungan Kalsium dan Fosfor. *Jurnal Ilmiah STIKES Kendal*, 12(1): 25-34. <http://journal.stikeskendal.ac.id/index.php/PSKM>
- TKPI. (2019). *Tabel Komposisi Pangan Indonesia Tahun 2019*. Jakarta: Kementerian Kesehatan
- Viani, T.O., dkk. (2023). Formulasi Tepung Daun Kelor (*Moringa oleifera L.*) dan Tepung Terigu Terhadap Mutu Sensori, Fisik, dan Kimia Cupcake. *Jurnal Agroindustri Berkelanjutan*, 2(1): 147-159
- Wadu, J., et al. (2021). Pemanfaatan Daun Kelor sebagai Bahan Dasar Produk Olahan Makanan di Kelurahan Kambaniru. *Jurnal Pengabdian Masyarakat Berkemajuan*, 4(2): 87-90. <https://journal.ummat.ac.id/index.php/jpmb/article/download/4270/2520>
- Zaif, R.M., Wijaya, M., & Hilmanto, D. (2017). Hubungan antara Riwayat Status Gizi Ibu Masa Kehamilan dengan Pertumbuhan Anak Balita di Kecamatan Soreang Kabupaten Bandung. *Jurnal Sistem Kesehatan*, 2(3)