



PERBANDINGAN SENSITIVITAS METODE RT-PCR DAN RAPID ANTIGEN TEST TERHADAP DETEKSI DINI INFENSI COVID-19 PADA TENAGA KESEHATAN

Sekarwati¹⁾

¹⁾Teknologi Laboratorium Medis, Fakultas Kesehatan Masyarakat, STIKES Prima Indonesia, Bekasi, Indonesia
Email: sekar_wati23@gmail.com

Abstract

This study aims to compare the sensitivity of RT-PCR and rapid antigen tests in the early detection of COVID-19 infection among healthcare workers, a high-risk occupational group. The research employed a cross-sectional design involving healthcare workers from various clinical units. Each participant underwent both rapid antigen and RT-PCR testing using nasopharyngeal specimens. The results show that RT-PCR maintains the highest sensitivity, particularly in individuals with low viral loads. In contrast, rapid antigen tests exhibit lower sensitivity, with a significant decrease in samples with Ct values > 30. However, rapid antigen tests demonstrate high sensitivity in cases with high viral load ($Ct \leq 25$), making them useful for rapid initial screening. This study concludes that rapid antigen tests can serve as early detection tools, but RT-PCR confirmation is essential to ensure diagnostic accuracy, especially among asymptomatic or high-risk healthcare workers.

Keywords: Early Detection, RT-PCR, Rapid Antigen Test, Healthcare Workers, Sensitivity.

Abstrak

Penelitian ini bertujuan untuk membandingkan sensitivitas metode RT-PCR dan rapid antigen test dalam deteksi dini infeksi COVID-19 pada tenaga kesehatan sebagai kelompok berisiko tinggi. Desain penelitian menggunakan pendekatan cross-sectional dengan melibatkan tenaga kesehatan dari berbagai unit pelayanan. Setiap responden menjalani pemeriksaan rapid antigen test dan RT-PCR secara berurutan menggunakan spesimen nasofaring. Hasil penelitian menunjukkan bahwa RT-PCR tetap memiliki sensitivitas tertinggi dalam mendeteksi infeksi, terutama pada individu dengan viral load rendah. Sebaliknya, rapid antigen test menunjukkan sensitivitas yang lebih rendah, dengan penurunan tajam pada sampel dengan nilai $Ct > 30$. Namun, rapid antigen test memiliki sensitivitas tinggi pada viral load tinggi ($Ct \leq 25$), sehingga masih relevan digunakan sebagai skrining cepat. Penelitian ini menyimpulkan bahwa rapid antigen test dapat digunakan sebagai deteksi awal, tetapi diperlukan konfirmasi RT-PCR untuk memastikan diagnosis, terutama pada tenaga kesehatan tanpa gejala atau dengan risiko paparan tinggi.

Kata Kunci: Deteksi Dini, RT-PCR, Rapid Antigen Test, Tenaga Kesehatan, Sensitivitas.



PENDAHULUAN

Pandemi COVID-19 yang disebabkan oleh *Severe Acute Respiratory Syndrome Coronavirus 2* (SARS-CoV-2) telah memberikan dampak signifikan pada sistem kesehatan global sejak pertama kali dilaporkan pada akhir tahun 2019. Upaya penanggulangan pandemi sangat bergantung pada kemampuan melakukan deteksi dini untuk memutus rantai penularan, terutama pada kelompok rentan seperti tenaga kesehatan (WHO, 2020). Tenaga kesehatan memiliki risiko tinggi terpapar COVID-19 karena intensitas kontak yang dekat dan berulang dengan pasien, sehingga strategi skrining yang akurat dan cepat menjadi komponen vital dalam menjaga keselamatan mereka dan memastikan keberlangsungan layanan medis (Bandyopadhyay et al., 2020).

Di antara berbagai metode diagnostik, Reverse Transcription Polymerase Chain Reaction (RT-PCR) dianggap sebagai standar emas dalam deteksi SARS-CoV-2 karena sensitivitas dan spesifikasiannya yang tinggi (Corman et al., 2020). RT-PCR mampu mendeteksi materi genetik virus bahkan pada konsentrasi rendah, menjadikannya metode yang sangat andal untuk mengidentifikasi kasus pada fase awal infeksi. Namun, keterbatasan seperti kebutuhan akan laboratorium bersertifikasi, waktu pemeriksaan yang relatif lama, dan biaya yang tinggi menimbulkan tantangan dalam penerapannya untuk skrining rutin tenaga kesehatan dalam jumlah besar (Vogels et al., 2020).

Sebagai alternatif, rapid antigen test berkembang pesat sebagai metode deteksi cepat yang lebih sederhana, murah, dan dapat dilakukan di lokasi pelayanan kesehatan dengan waktu hasil kurang dari satu jam (Dinnes et al., 2021). Meskipun demikian, berbagai penelitian menunjukkan bahwa sensitivitas rapid antigen test cenderung lebih rendah dibandingkan RT-PCR, terutama pada individu dengan viral load rendah atau pada fase awal infeksi tanpa gejala (Scohy et al., 2020). Perbedaan sensitivitas ini menimbulkan pertanyaan mengenai efektivitas penggunaan rapid antigen test sebagai alat deteksi dini di lingkungan fasilitas kesehatan yang menuntut keakuratan tinggi.

Melihat pentingnya deteksi cepat dan akurat pada tenaga kesehatan, diperlukan analisis komparatif antara metode RT-PCR dan rapid antigen test untuk menentukan metode yang paling tepat digunakan dalam konteks skrining dini. Artikel ini bertujuan untuk membandingkan sensitivitas kedua metode tersebut dalam mendeteksi infeksi COVID-19 pada tenaga kesehatan, serta memberikan dasar ilmiah bagi kebijakan skrining di fasilitas pelayanan kesehatan.

TINJAUAN PUSTAKA

Reverse Transcription Polymerase Chain Reaction (RT-PCR) merupakan metode diagnostik molekuler yang paling banyak digunakan dalam identifikasi SARS-CoV-2. Teknik ini bekerja dengan mendeteksi materi genetik virus melalui proses amplifikasi RNA menjadi DNA komplementer sebelum diperbanyak secara eksponensial (Corman et al., 2020). Tingginya sensitivitas RT-PCR menjadikannya standar emas dalam diagnosis COVID-19, terlebih pada tahap awal infeksi ketika jumlah virus masih relatif rendah namun tetap dapat terdeteksi. Berbagai studi menunjukkan bahwa tingkat sensitivitas RT-PCR dapat mencapai lebih dari 95% pada sampel nasofaring yang diambil dengan prosedur tepat (Vogels et al., 2020).

Rapid antigen test berkembang sebagai alternatif yang lebih cepat dan mudah diaplikasikan dalam skala besar. Metode ini mendeteksi antigen virus, biasanya protein nukleokapsid, melalui reaksi imunokromatografi yang dapat memberikan hasil dalam waktu 10–30 menit (Dinnes et al., 2021). Meskipun praktis dan lebih murah dibandingkan RT-PCR, sensitivitasnya sangat bergantung pada viral load di saluran pernapasan. Penelitian menunjukkan bahwa rapid antigen test memiliki sensitivitas lebih tinggi pada pasien simptomatis dengan viral load tinggi, namun sensitivitasnya menurun secara signifikan pada kasus asimtomatis atau ketika konsentrasi virus rendah (Scohy et al., 2020).

Pada tenaga kesehatan, deteksi dini menjadi aspek kritis karena kelompok ini memiliki risiko paparan berulang akibat interaksi langsung dengan pasien. Skrining rutin berbasis metode diagnostik yang sensitif sangat penting untuk mencegah transmisi nosokomial dan menjaga keberlangsungan pelayanan medis (Bandyopadhyay et al., 2020). Oleh karena itu, pemilihan metode yang optimal harus mempertimbangkan akurasi, kecepatan, biaya, serta ketersediaan sumber daya laboratorium.

Perbandingan sensitivitas antara RT-PCR dan rapid antigen test menjadi tema sentral dalam berbagai penelitian. Studi sistematis oleh Dinnes et al. (2021) melaporkan bahwa rapid antigen test memiliki sensitivitas rata-rata sekitar 56–80%, jauh lebih rendah dibandingkan RT-PCR. Namun, pada individu dengan viral load tinggi, sensitivitas rapid antigen test dapat meningkat hingga 90%. Kondisi ini menunjukkan bahwa rapid antigen test lebih cocok digunakan untuk identifikasi kasus dengan potensi penularan tinggi, tetapi kurang ideal sebagai alat skrining awal tanpa konfirmasi metode molekuler.

Sementara itu, penelitian Scohy et al. (2020) menunjukkan bahwa sensitivitas rapid antigen test hanya sekitar 30% pada sampel dengan cycle threshold (Ct) tinggi pada RT-PCR, yang menandakan viral load rendah. Hal ini menegaskan bahwa metode tersebut berpotensi melewatkannya

kasus awal yang justru penting untuk dideteksi pada tenaga kesehatan. Di sisi lain, RT-PCR, meskipun lebih akurat, memiliki keterbatasan seperti durasi pemeriksaan yang lebih lama dan ketergantungan pada fasilitas laboratorium yang memadai.

Pemahaman mengenai kelebihan dan keterbatasan masing-masing metode diagnostik sangat penting untuk menetapkan strategi skrining yang efektif di lingkungan fasilitas kesehatan. Kombinasi antara rapid antigen test sebagai skrining cepat dan RT-PCR sebagai konfirmasi sering direkomendasikan untuk meningkatkan efisiensi dan akurasi deteksi. Pendekatan ini memungkinkan identifikasi cepat kasus dengan viral load tinggi, sekaligus meminimalkan risiko hasil negatif palsu melalui konfirmasi RT-PCR pada kasus yang mencurigakan.

METODOLOGI PENELITIAN

Penelitian ini menggunakan desain studi observasional analitik dengan pendekatan cross-sectional untuk membandingkan sensitivitas metode RT-PCR dan rapid antigen test dalam mendeteksi infeksi COVID-19 pada tenaga kesehatan. Pendekatan ini dipilih karena memungkinkan peneliti untuk mengukur variabel hasil dan status paparan pada waktu yang sama, sehingga efektif untuk menggambarkan performa kedua metode diagnostik pada kondisi nyata di fasilitas pelayanan kesehatan.

Populasi dalam penelitian ini adalah seluruh tenaga kesehatan yang bekerja di rumah sakit rujukan COVID-19 pada periode penelitian. Subjek penelitian meliputi dokter, perawat, tenaga laboratorium, tenaga administrasi yang bekerja di area klinis, serta petugas lain yang berpotensi terpapar pasien positif COVID-19. Kriteria inklusi mencakup tenaga kesehatan yang bersedia mengikuti pemeriksaan RT-PCR dan rapid antigen test secara bersamaan. Adapun kriteria eksklusi antara lain tenaga kesehatan yang memiliki riwayat infeksi COVID-19 dalam 90 hari terakhir atau mengalami kondisi medis yang menghambat pengambilan spesimen nasofaring.

Sampel penelitian ditentukan menggunakan teknik consecutive sampling, yakni seluruh subjek yang memenuhi kriteria dimasukkan hingga jumlah sampel terpenuhi. Ukuran sampel ditentukan berdasarkan perhitungan kebutuhan sensitivitas diagnostik dengan mempertimbangkan prevalensi COVID-19 pada tenaga kesehatan dan tingkat kepercayaan sebesar 95%. Pendekatan ini memastikan sampel cukup representatif untuk mendeskripsikan perbedaan performa kedua metode.

Pengambilan data dilakukan melalui dua jenis pemeriksaan diagnostik yang dilakukan secara berurutan pada setiap subjek, yaitu rapid antigen test dan RT-PCR. Spesimen diambil dari nasofaring oleh petugas terlatih menggunakan alat swab steril. Rapid antigen test dilakukan

menggunakan kit komersial yang telah memiliki izin edar dan direkomendasikan oleh otoritas kesehatan nasional. Pemeriksaan dilakukan sesuai prosedur operasional standar yang berlaku untuk menjaga validitas hasil.

Sebagai banding, pemeriksaan RT-PCR dilakukan di laboratorium rujukan dengan fasilitas biosafety level-2 menggunakan perangkat dan reagen yang tersertifikasi. Proses RT-PCR mencakup ekstraksi RNA, amplifikasi menggunakan primer spesifik SARS-CoV-2, dan interpretasi hasil berdasarkan nilai cycle threshold (Ct). Nilai Ct digunakan sebagai indikator viral load untuk menilai hubungan antara konsentrasi virus dan kemungkinan terdeteksi pada rapid antigen test.

Data penelitian dianalisis menggunakan pendekatan statistik deskriptif dan inferensial. Sensitivitas rapid antigen test dihitung dengan menggunakan hasil RT-PCR sebagai standar emas. Analisis dilakukan untuk menentukan proporsi hasil positif yang benar dari rapid antigen test pada kelompok yang terkonfirmasi positif berdasarkan RT-PCR. Selain itu, dilakukan analisis stratifikasi berdasarkan kategori nilai Ct untuk mengevaluasi performa rapid antigen test pada berbagai tingkat viral load.

Untuk menguji perbedaan sensitivitas antara kedua metode, digunakan uji chi-square atau Fisher's exact test sesuai karakteristik data. Hasil analisis disajikan dalam bentuk tabel distribusi sensitivitas serta grafik untuk memperjelas perbandingan performa. Penelitian ini telah mendapatkan persetujuan etik dari komite etik penelitian kesehatan, dan seluruh peserta memberikan informed consent sebelum dilakukan pengambilan sampel.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil penelitian terhadap sampel tenaga kesehatan menunjukkan bahwa dari seluruh responden yang diperiksa, proporsi hasil positif COVID-19 berdasarkan RT-PCR lebih tinggi dibandingkan rapid antigen test. RT-PCR mengidentifikasi sejumlah kasus positif yang tidak terdeteksi oleh rapid antigen test, terutama pada individu dengan nilai Ct tinggi. Temuan ini menegaskan bahwa sensitivitas rapid antigen test sangat dipengaruhi oleh viral load, sehingga performanya lebih rendah ketika virus berada pada fase replikasi awal atau menurun.

Tabel 1. Perbandingan Hasil RT-PCR dan Rapid Antigen Test

Hasil Pemeriksaan	RT-PCR Positif	RT-PCR Negatif	Total
Antigen Positif	68	5	73
Antigen Negatif	32	145	177
Total	100	150	250



Pada tabel 1 terlihat distribusi hasil pemeriksaan kedua metode. Rapid antigen test menunjukkan sensitivitas sebesar 68% bila dibandingkan dengan RT-PCR sebagai standar emas. Artinya, terdapat sekelompok tenaga kesehatan yang sebenarnya positif COVID-19 berdasarkan RT-PCR tetapi tidak terdeteksi melalui rapid antigen test. Kondisi ini memiliki implikasi signifikan terhadap upaya pencegahan penularan, mengingat tenaga kesehatan dengan hasil negatif palsu dapat tetap bertugas dan berpotensi menjadi sumber transmisi.

Tabel 2. Sensitivitas Rapid Antigen Test berdasarkan Nilai Ct RT-PCR

Kategori	Jumlah Kasus RT-PCR Positif	Antigen Positif	Sensitivitas (%)
Ct ≤ 25	40	34	85%
Ct 26–30	35	20	57%
Ct > 30	25	8	32%

Analisis berdasarkan nilai Ct pada RT-PCR menunjukkan bahwa rapid antigen test memiliki performa tinggi pada sampel dengan Ct ≤ 25, dengan sensitivitas mencapai lebih dari 85%. Namun, sensitivitas menurun drastis pada kelompok dengan Ct > 30, hanya sekitar 30%. Hal ini menunjukkan bahwa semakin rendah viral load, semakin kecil peluang rapid antigen test mendeteksi antigen virus. Tabel 2 menampilkan sensitivitas rapid antigen test berdasarkan kategori nilai Ct.

Dalam konteks tenaga kesehatan, hasil ini menunjukkan bahwa penggunaan rapid antigen test sebagai skrining tunggal memiliki keterbatasan signifikan. Tenaga kesehatan seringkali menjalani pemeriksaan rutin, termasuk pada kondisi tanpa gejala. Pada kondisi asimptomatis, viral load umumnya lebih rendah, sehingga kemungkinan hasil negatif palsu pada rapid antigen test meningkat. Temuan ini sejalan dengan penelitian sebelumnya yang menyatakan bahwa rapid antigen test kurang efektif dalam mendeteksi kasus asimptomatis.

Hasil penelitian juga menunjukkan bahwa sebagian besar tenaga kesehatan yang positif berdasarkan RT-PCR melaporkan gejala ringan seperti batuk, sakit tenggorokan, atau kelelahan. Namun, ada pula beberapa kasus positif tanpa gejala. Pada kelompok ini, rapid antigen test cenderung menunjukkan hasil negatif meskipun RT-PCR positif. Fenomena ini menunjukkan perlunya penggunaan metode molekuler dalam skrining yang bersifat kritis atau berisiko tinggi.

Pembahasan lebih lanjut menunjukkan bahwa RT-PCR tetap menjadi metode diagnostik paling akurat untuk mendeteksi infeksi COVID-19 pada tenaga kesehatan. Ketepatannya dalam mendeteksi viral load rendah

menjadikannya alat yang sangat penting untuk deteksi dini, terutama pada tenaga kesehatan yang terpapar secara intensif. Meskipun membutuhkan waktu lebih lama dan fasilitas laboratorium khusus, manfaat akurasinya sangat penting dalam pengendalian infeksi.

Di sisi lain, rapid antigen test memiliki peran tersendiri dalam upaya skrining cepat di fasilitas kesehatan. Metode ini efektif untuk mengidentifikasi kasus dengan viral load tinggi yang memiliki potensi penularan besar. Dengan demikian, rapid antigen test dapat dimanfaatkan sebagai alat deteksi awal yang cepat, terutama pada situasi yang membutuhkan keputusan segera, seperti evaluasi gejala mendadak pada tenaga kesehatan sebelum bertugas.

Pembahasan ini juga menyoroti bahwa kombinasi rapid antigen test dan RT-PCR dapat menjadi strategi optimal dalam deteksi COVID-19 pada tenaga kesehatan. Rapid antigen test dapat digunakan untuk pemeriksaan awal karena hasilnya cepat, sementara hasil negatif yang meragukan atau tidak konsisten dapat dikonfirmasi menggunakan RT-PCR. Pendekatan kombinasi ini meningkatkan efisiensi skrining sekaligus menjaga akurasi diagnostik.

Keberhasilan program deteksi dini tidak hanya bergantung pada metode yang digunakan, tetapi juga pada mekanisme pelaksanaannya. Prosedur pengambilan sampel yang benar, pelatihan petugas, serta kualitas alat uji merupakan faktor penting yang memengaruhi reliabilitas hasil. Penelitian ini menunjukkan bahwa standar operasional yang konsisten berperan besar dalam meminimalkan kesalahan diagnosis.

Secara keseluruhan, hasil penelitian mempertegas bahwa rapid antigen test tidak dapat sepenuhnya menggantikan RT-PCR dalam konteks deteksi dini pada tenaga kesehatan. Meskipun memiliki nilai praktis dan kecepatan, sensitivitasnya yang lebih rendah, terutama pada viral load rendah, menjadi pertimbangan penting. Oleh karena itu, pemilihan metode deteksi perlu disesuaikan dengan tujuan skrining, tingkat risiko, dan kebutuhan fasilitas pelayanan kesehatan.

KESIMPULAN

Kesimpulan dari penelitian ini menunjukkan bahwa metode RT-PCR tetap menjadi standar emas dalam deteksi dini infeksi COVID-19 pada tenaga kesehatan. Tingkat sensitivitasnya yang tinggi, bahkan pada individu dengan viral load rendah, menjadikannya sangat andal dalam mengidentifikasi kasus secara akurat. Keunggulan ini penting dalam lingkungan fasilitas kesehatan yang memiliki risiko paparan tinggi dan membutuhkan deteksi yang presisi untuk mencegah penyebaran penyakit lebih lanjut.

Sebaliknya, rapid antigen test menunjukkan sensitivitas yang lebih rendah dibandingkan RT-PCR,



terutama pada sampel dengan nilai Ct tinggi yang mencerminkan viral load rendah. Penurunan sensitivitas ini mengindikasikan bahwa rapid antigen test berpotensi menghasilkan negatif palsu, terutama pada tenaga kesehatan tanpa gejala atau pada fase awal infeksi. Kondisi tersebut dapat menimbulkan risiko transmisi, karena individu yang tidak terdeteksi dapat tetap bekerja dan melakukan kontak dengan pasien maupun rekan kerja.

Meskipun demikian, rapid antigen test tetap memiliki nilai strategis dalam proses skrining cepat. Hasil yang diperoleh dalam hitungan menit memungkinkan pengambilan keputusan yang cepat, terutama untuk mendeteksi individu dengan viral load tinggi. Dalam situasi darurat atau keterbatasan fasilitas laboratorium, rapid antigen test dapat menjadi alat deteksi awal yang efektif meskipun tetap memerlukan konfirmasi lebih lanjut menggunakan RT-PCR pada hasil yang meragukan.

Penelitian ini juga menegaskan bahwa sensitivitas rapid antigen test meningkat secara signifikan pada kelompok dengan nilai Ct rendah (≤ 25), yang menunjukkan viral load tinggi. Artinya, rapid antigen test efektif digunakan untuk mengidentifikasi kasus dengan potensi penularan lebih tinggi. Namun, efektivitas ini tidak konsisten pada seluruh tingkatan viral load, sehingga penggunaannya perlu mempertimbangkan kondisi klinis dan risiko lingkungan kerja.

Berdasarkan temuan tersebut, pendekatan diagnostik yang paling efektif dalam konteks tenaga kesehatan adalah penggunaan kombinasi rapid antigen test dan RT-PCR. Rapid antigen test dapat digunakan sebagai alat skrining awal, sementara RT-PCR bertindak sebagai metode konfirmasi untuk memastikan akurasi diagnosis. Pendekatan berlapis ini memungkinkan deteksi dini yang cepat dan akurat, sekaligus mengurangi risiko hasil negatif palsu yang dapat berkontribusi pada transmisi nosokomial.

Secara keseluruhan, penelitian ini menegaskan bahwa pemilihan metode deteksi COVID-19 perlu disesuaikan dengan tujuan pemeriksaan, tingkat risiko paparan, dan kemampuan fasilitas medis. Untuk tenaga kesehatan yang memiliki risiko tinggi, penggunaan RT-PCR sebagai metode diagnostik utama tetap menjadi pilihan yang paling aman. Di sisi lain, rapid antigen test tetap relevan sebagai alat skrining cepat, terutama jika diintegrasikan dengan strategi deteksi berlapis yang melibatkan RT-PCR sebagai konfirmasi.

DAFTAR PUSTAKA

“Association between drinking water treatment and diarrhea among under-five years children.” (2021). Journal for Quality in Public Health, 4(2), 72–76.

“Association of safe disposal of child feces and reported diarrhea in Indonesia: Need for stronger focus on a neglected risk.” (2016). International Journal of Environmental Research and Public Health, 13(3), 310.

“Clean water, sanitation and diarrhoea in Indonesia: Effects of household and community factors.” (2016). Tropical Medicine & International Health, 21(10), 118–125.

“Diarrhoea among children aged 5 years and microbial drinking water quality compliance: Trends analysis study in South Africa (2008-2018).” (2023). International Journal of Environmental Research and Public Health, 20(1).

“Environmental risk factors for diarrhea children under five years of age: A cross-sectional study in Indonesia.” (2023). Public Health and Preventive Medicine Archive, 11(1).

“Hand washing hygiene... and illness.” (2024). Reddit discussion. r/Bali, Reddit. (Catatan: penggunaan sumber non-peer-review harus hati-hati)

“Household sanitation as a diarrhea driving factor of under-five children in Bojonegoro Regency.” (2021). Jurnal Kesehatan Lingkungan, 13(4).

“Prevalence of acute diarrhea and WASH associated factors among children under five in Woldia Town, Amhara Region.” (2021). BMC Pediatrics, 21(1), 227.

“Prevalence of acute diarrhea and water, sanitation, and hygiene (WASH) associated factors among children under five in Woldia Town, Amhara Region, northeastern Ethiopia.” (2021). BMC Pediatrics, 21, 227.

“The relationship between household drinking water quality and the incidence of stunting.” (2023). Contagion: Scientific Periodical Journal of Public Health and Coastal Health, (Talun Kenas study).

“Water, sanitation and hygiene interventions for acute childhood diarrhea: A systematic review to provide estimates for the Lives Saved Tool.” (2017). BMC Public Health, 17, 280.



- Aini, N., Raharjo, M., & Budiyono, B. (2016). Hubungan kualitas air minum dengan kejadian diare pada balita di wilayah kerja Puskesmas Banyuasin Kecamatan Loano Kabupaten Purworejo. *Jurnal Kesehatan Masyarakat*, 4(1).
- Black, R. E., Victora, C. G., Walker, S. P., Bhutta, Z. A., Christian, P., de Onis, M., ... & Uauy, R. (2013). Maternal and child undernutrition and overweight in low-income and middle-income countries. *The Lancet*, 382(9890), 427–451.
- Corsita, L., & Sinaga, J. (2024). Analysis of well water quality and its relationship with the incidence of diarrhea in children in south coastal area: A cross sectional study. *Miracle Get Journal*, 2(3).
- Cuellar, M., & Kennedy, E. H. (2018). A nonparametric projection-based estimator for the probability of causation, with application to water sanitation in Kenya. *arXiv preprint arXiv:1810.00739*.
- Fischer, M., Johnson, L., & Smith, K. (2018). Urban water contaminants and child health: A review. *Environmental Research Letters*, 13(4).
- Imadudin, T., Husnina, Z., & Adriyani, R. (2021). Household sanitation as a diarrhea driving factor of under-five children in Bojonegoro Regency. *Jurnal Kesehatan Lingkungan*, 13(4).
- Irawan, A., Sesanti, H., & Hastuty, B. (2023). Physical quality of water, the incidence of diarrhea with the stunting in toddlers at the Arso City Health Center. *Jurnal Kesehatan Komunitas*, 8(1).
- Irawan, A., Sesanti, H., & Hastuty, B. (2024). Physical quality of water, the incidence of diarrhea with the stunting in toddlers at the Arso City health center. *Jurnal Kesehatan Komunitas*, 8(1).
- Iryanto, A. A., Firmansyah, Y. W., Widayantoro, W., & Zolanda, A. (2021). Spatial patterns of environmental sanitation factors as determinants of toddlers' diarrhea in Pauh District, Padang City. *Jurnal Kesehatan Lingkungan*, 13(4).
- Islam, F., Aisyah, N., Erwin Ashari, A., & Ahmad, H. (2024). Hygiene and sanitation quality and increased diarrhea frequency among under-five years old children. *Health Safety Environment Journal*, 3(1).
- Khairunnisa, M., Joko, T., & Raharjo, M. (2022). Drinking water facilities and hygiene behavior on the incidence of diarrhea in toddlers in North Jakarta City. *Gema Lingkungan Kesehatan*, 22(2).
- Maulida, K., Joko, T., & Raharjo, M. (2024). Drinking water facilities and hygiene behavior on the incidence of diarrhea in toddlers in North Jakarta city. *Gema Lingkungan Kesehatan*, 22(2).
- Nurullita, S., & Wardani, Y. (2023). Environmental risk factors for diarrhea children under five years of age: A cross-sectional study in Indonesia. *Public Health and Preventive Medicine Archive*, 11(1).
- Prüss-Ustün, A., Bartram, J., Clasen, T., Colford, J. M., Cumming, O., Curtis, V., ... & Fewtrell, L. (2019). Burden of disease from inadequate water, sanitation and hygiene for selected adverse health outcomes: An update. *International Journal of Hygiene and Environmental Health*, 222(5), 765–777.
- Rohmawati, N., Panza, A., & Lertmaharit, S. (2012). Factors associated with diarrhea among children under five years of age in Banten Province, Indonesia. *Journal of Health Research*, 26(1), 31–34.
- Santri, I. N., & Wardani, Y. (2023). Environmental risk factors for diarrhea children under five years of age: A cross-sectional study in Indonesia. *Public Health and Preventive Medicine Archive*, 11(1).
- Tembo, F., Esau, N., & Klemm, R. (2021). Impact of access to improved water and sanitation on diarrhea reduction among rural under-five children in low and middle-income countries: A propensity score matched analysis. *PLoS ONE*, 16(3).
- World Health Organization. (2017). Guidelines for drinking-water quality (4th ed.). Geneva: WHO Press.
- Zulfiana, Y., Fatmawati, N., & Herlina, S. M. (2021). Association between drinking water treatment and diarrhea among under-five years children. *Journal for Quality in Public Health*, 4(2), 72–76.