

Risiko Kualitas Air Tanah di Kota-Kota Indonesia

1 TUJUAN

Catatan teknis ini menjadi latar belakang dari Ringkasan Kebijakan (*Policy Brief*) “*Risiko Kualitas Air Tanah di Kota-Kota Indonesia*”. Ringkasan Kebijakan (*Policy Brief*) ini berisi lima rekomendasi kebijakan dan pembaca dapat merujuk ke Catatan Teknis ini untuk informasi lebih lanjut tentang dua rekomendasi berikut:

Rekomendasi 2 – Alat Pemeringkatan Risiko

Rekomendasi 4 – Menggunakan Inspeksi Sanitasi untuk Mengurangi Risiko

Oleh karena itu, Catatan Teknis ini terdiri dari dua bagian yang mencakup masing-masing rekomendasi tersebut.

2 Bagian A: ALAT PEMERINGKATAN RISIKO

2.1 Latar belakang

Tujuan dari alat pemeringkatan risiko adalah untuk membantu mengidentifikasi kota-kota yang akan memperoleh manfaat terbesar dari penyediaan air perpipaan. Tujuan lain adalah untuk menyediakan informasi guna membantu menentukan jenis investasi yang dapat mengurangi risiko kesehatan. Adapun sasaran utama alat ini adalah memanfaatkan data yang ada sehingga tidak memerlukan pengambilan sampel baru dari suplai air rumah tangga yang akan memakan biaya dan waktu.

Ringkasan kebijakan menjelaskan bahwa penelitian ini dimulai dengan pemahaman (model konseptual) tentang bagaimana patogen masuk ke sumber air rumah tangga¹ dan menggunakan pemahaman ini untuk mengidentifikasi faktor-faktor yang sekiranya memengaruhi kemungkinan ditemukannya *E. coli* dalam sumber air tanah. Data masing-masing faktor ini yang bisa didapatkan kemudian dikumpulkan. Kami memperoleh data dari survei “Studi Kualitas Air Minum Rumah Tangga” (SKAM-RT), yang dilakukan pada November hingga Desember tahun 2020. Survei ini memberikan informasi pengukuran *E. coli* di sumber air 622 rumah tangga daerah perkotaan² yang menggunakan sumur bor atau sumur gali sebagai sumber air minum utama mereka. Kami menggunakan metode statistik untuk menentukan faktor yang berkaitan dengan *E. coli* > 100 CFU/100mL. Faktor ini kemudian menjadi dasar menciptakan model yang bertujuan untuk memperkirakan kota dengan sumber air tanah rumah tangga yang mungkin memiliki parameter *E. coli* yang tinggi. Masing-masing langkah ini dijelaskan lebih rinci di bagian berikutnya.

Karena kami memilih untuk hanya menggunakan data yang tersedia dan menyederhanakan kondisi nyata yang sangat kompleks, tujuan kami bukanlah untuk mencapai model prediktif yang akurat,

¹Pemeringkatan ini didasarkan pada patogen yang ditunjukkan oleh *E. coli* di sumber air. Pemeringkatan ini tidak mempertimbangkan kontaminasi atau penanganan lebih lanjut yang mungkin terjadi antara sumber dan penggunaan air.

²Dalam penelitian ini, kami menganggap wilayah perkotaan sebagai rumah tangga yang berlokasi di dalam batas administratif suatu kota. Pendekatan alternatif yang digunakan oleh Badan Pusat Statistik adalah mendefinisikan setiap Kelurahan/Desa sebagai perkotaan atau pedesaan. Kami tidak melakukan ini karena tujuan kami adalah untuk menentukan peringkat di tingkat kota.

melainkan memperoleh metode untuk membuat peringkat kota.

2.2 Model Konseptual

Model konseptual tentang cara patogen masuk ke sumber air tanah di wilayah perkotaan Indonesia dikembangkan menggunakan tinjauan literatur akademis (Mbae et al., 2024) seperti yang diilustrasikan dalam **Error! Reference source not found.** Pendekatan ini digunakan untuk memperhitungkan bagaimana patogen-patogen berpindah dari sumber melalui jalur menuju reseptor. Terdapat berbagai penghalang yang membatasi paparan patogen dari sumber, berpindah ke sepanjang jalur hingga ke reseptor.

Di wilayah perkotaan Indonesia, kami berharap menemukan sumber, jalur, dan reseptor beserta halangannya (*barrier*) yang terkait perpindahan patogen.

Sumber:

- Sistem sanitasi setempat (*onsite*).
- Kebocoran dari saluran pembuangan.
- Ternak.
- Air limbah (*grey water*) yang tidak tersambung dengan sistem sanitasi di lokasi dan langsung meresap/masuk ke dalam air tanah.

Jalur:

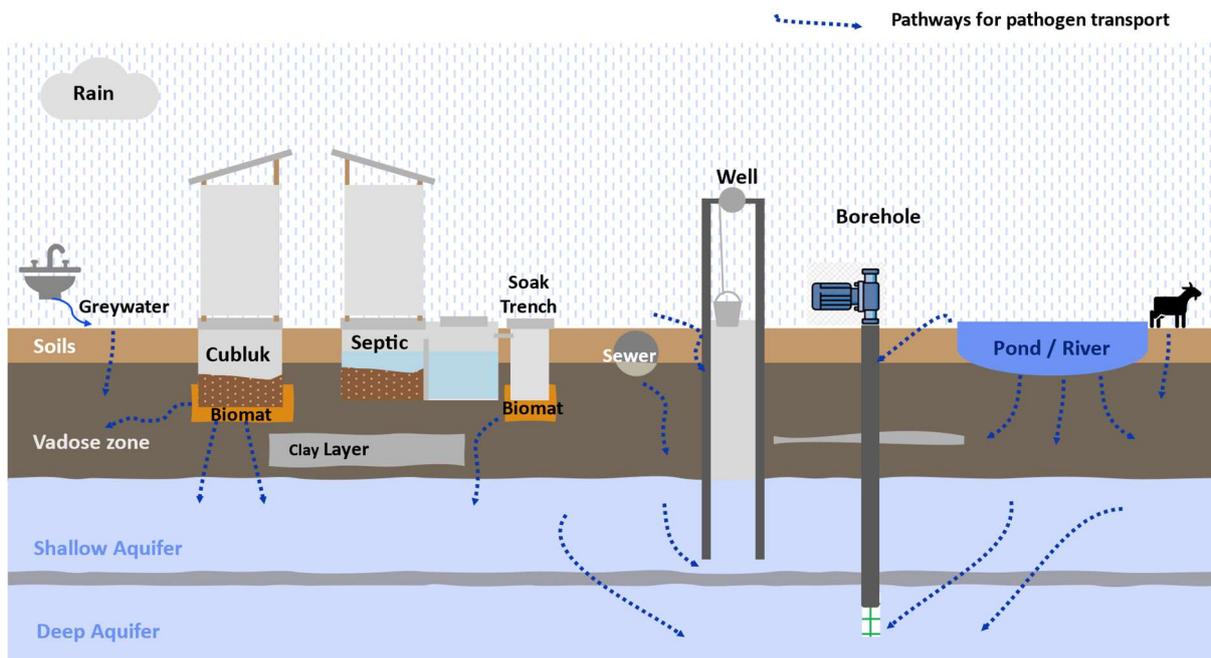
- Jalur akuifer – kontaminan bergerak melalui zona tak jenuh (*unsaturated zone*) ke akuifer dan kemudian mengalir menuju sumber air (reseptor). Keberadaan beberapa akuifer yang dipisahkan oleh akuitar dapat mempersulit jalur ini.
- Jalur lokal – kontaminan memasuki sumber air (reseptor) tanpa mengalir melalui akuifer, misalnya air limpasan permukaan (*run-off*) yang masuk melalui retakan dinding sumur.

Reseptor

- Sumur bor (lubang dibuat dengan teknik bor, yang biasanya memiliki *casing* pelindung dan menggunakan pompa listrik untuk mengekstraksi air)
- Sumur gali (sumur gali dangkal dengan plester pelindung hanya di bagian atas, terkadang memakai pompa listrik atau menggunakan ember dan tali).

Pada masing-masing sumber, jalur, dan reseptor ini terdapat penghalang yang mengurangi transmisi patogen. Selain sumber, jalur, dan reseptor ini, curah hujan dan aliran air limpasan dari permukaan ke akuifer dan reseptor dapat dianggap sebagai pendukung (*enabler*) yang meningkatkan aliran patogen di sepanjang jalur tersebut.

Gambar 1 Model Konseptual



2.3 Data Terkumpul terkait Faktor Risiko

Tabel 1 menyajikan daftar faktor yang datanya diperoleh untuk sebagian besar kota di Indonesia. Data ini dapat mewakili berbagai jenis sumber, jalur, penerima, dan penghalang terkait transmisi patogen yang berasal dari tinja. Untuk beberapa hambatan, berikut berbagai kemungkinan sumber data yang dapat digunakan (misal: jumlah patogen terbangun dari sistem setempat dan sistem pembuangan air limbah dapat diwakilkan oleh kepadatan penduduk atau proporsi lahan terbangun, atau bahkan oleh intensitas emisi cahaya di malam hari), sementara data tidak tersedia untuk faktor lainnya (misal: kedalaman sumur bor rumah tangga dan akuifer mana yang mereka akses, yang sebagian besar tidak diketahui).

Tabel 1 Faktor Risiko yang datanya tersedia untuk sumber, jalur, reseptor yang diperkirakan dan hambatan yang terkait.

Faktor Risiko	Data Potensial untuk mengukur faktor risiko	Digunakan dalam model?	Penjelasan
Sumber			
Beban (jumlah E Coli yang terdapat di daerah tangkapan air) dari - Sistem sanitasi setempat. - Kebocoran dari saluran pembuangan. - Ternak.	Kepadatan penduduk	Ya	Hubungan signifikan pada tingkat keyakinan (confidence) 95%
	% luas lahan terbangun	TIDAK	Kepadatan penduduk memiliki korelasi lebih baik
	Wilayah yang tercakup dalam sistem pembuangan air limbah perpipaan	TIDAK	Hanya sebagian kecil rumah tangga yang terlayani oleh saluran pembuangan air limbah dan datanya tidak tersedia dengan mudah.
	Keberadaan toilet dalam jarak 15m	TIDAK	Tidak ditemukan hubungan signifikan.

Faktor Risiko	Data Potensial untuk mengukur faktor risiko	Digunakan dalam model?	Penjelasan
- air luapan dari sistem sanitasi yang buruk atau tersumbat. - Air limbah (<i>grey water</i>) yang mencemari air permukaan dan kemudian meresap ke dalam air tanah.	% rumah tangga di kota yang tidak memiliki WWTP, septik tank, dan cubluk	TIDAK	Tidak ditemukan hubungan signifikan.
	Jenis sistem sanitasi rumah tangga	TIDAK	Tidak ditemukan hubungan signifikan.
Jalur			
Jalur akuifer.	lereng tanah	TIDAK	Tidak ditemukan hubungan signifikan.
	Kedalaman air tanah	TIDAK	Asosiasi yang buruk. Data yang tersedia tidak mewakili kedalaman air tanah yang sebenarnya dengan akurasi yang memadai.
	Litologi	TIDAK	Tidak ada hubungan signifikan dengan data yang tersedia.
	Litologi akuifer	Ya	Hubungan signifikan pada tingkat keyakinan (confidence) 90%
Jalur setempat/lokal	Skor inspeksi sanitasi	TIDAK	Hubungan signifikan pada tingkat keyakinan (confidence) 95%, tetapi tidak ada data yang cukup untuk mengetahui skor inspeksi sanitasi yang umum untuk setiap kota. (SKAM-RT terdapat terlalu sedikit sampel untuk ini)
Dampak yang memungkinkan dari curah hujan	Curah hujan 2 bulan sebelum pengambilan sampel (Oktober/November 2020).	Ya	Hubungan signifikan pada tingkat keyakinan 95%
Reseptor			
Jenis	Jenis sumber air minum (sumur gali atau sumur bor)	Ya	Hubungan signifikan pada tingkat keyakinan 95%

2.4 Metode untuk Memperkirakan Risiko

Secara umum metode berpikir terkait risiko adalah:

$$RISIKO = KONSEKUENSI \times PAPARAN$$

Jika kita terjemahkan pada situasi spesifik rumah tangga yang menggunakan air tanah di wilayah perkotaan Indonesia, maka dapat dikatakan:

KONSEKUENSI adalah dampak pada kesehatan manusia. Dampak kesehatan dari keberadaan patogen dalam air minum biasanya berupa timbulnya penyakit seperti diare dan untuk efek yang kronis seperti terhambatnya pertumbuhan anak (*stunting*)³. Kita tidak dapat mengukur dampak kesehatan manusia dengan mudah karena terdapat banyak sekali penyebab kesehatan yang buruk, oleh karena itu kami melihat seberapa besar kemungkinan sumber air tanah terkontaminasi oleh patogen. *E coli* sebagai indikator yang paling sering digunakan untuk mengetahui kemungkinan air terkontaminasi kotoran.

PAPARAN dalam konteks ini dapat diukur dari jumlah rumah tangga yang menggunakan air tanah sebagai sumber air minum utama mereka.

Jadi, risiko untuk kota tertentu menjadi:

Risiko = (tingkat kontaminasi air tanah sebagaimana diindikasikan oleh E coli) x (proporsi rumah tangga yang menggunakan air tanah untuk minum)

Data dari SUSENAS (BPS, 2020) digunakan untuk memperkirakan proporsi rumah tangga di setiap kota yang menggunakan air tanah (sumur gali, sumur bor atau mata air) sebagai sumber air minum utama mereka.

2.5 Memperkirakan E. Coli dalam Air Tanah

Survei SKAM-RT yang dilakukan pada tahun 2020 (Irianto, 2020) memberikan penilaian paling komprehensif terhadap *E coli* pada sumber air minum rumah tangga. Survei ini memiliki data 847 rumah tangga di kota-kota (dalam batas administratif kota) yang menggunakan air tanah dari sumur bor atau sumur gali sebagai sumber air minum utama. Dari jumlah tersebut, 619 rumah tangga memiliki perangkat data lengkap, termasuk lokasi dengan akurasi cukup untuk mencocokkan data rumah tangga dengan faktor-faktor spesifik lokasi seperti kepadatan penduduk atau litologi akuifer. Untuk masing-masing rumah tangga ini, satu sampel diambil dari sumber air mereka dan dianalisis untuk keberadaan *E coli* dan hasilnya dicatat dalam kategori berikut:

- Aman: 0 CFU/100mL
- Risiko Rendah: 1 – 10 CFU/100mL
- Risiko Sedang: 11 – 100 CFU/ 100mL
- Risiko Tinggi > 100 CFU/100mL

Jumlah sampel tidak cukup besar untuk memberi peringkat kota secara langsung dari data (banyak kota tidak memiliki sampel). Namun, data tersebut memberikan peluang untuk menggunakan teknik regresi multivariabel guna menghasilkan model yang memprediksi *E coli* menggunakan faktor risiko dalam Tabel 1.

Metode Pengembangan Korelasi

Data *E coli* dikelompokkan ke dalam dua kategori untuk membuat variabel biner. Hal ini memungkinkan model regresi logistik biner untuk memprediksi probabilitas *E coli* berada dalam satu atau kategori lainnya. Batasan dipilih adalah “ > 100 CFU/100mL” karena merupakan batas umum yang digunakan dalam literatur misalnya (Bain et al., 2021) dan beberapa uji coba dengan data menunjukkan penggunaan batas ini memberikan menunjukkan hubungan yang lebih baik antara *E coli* dan faktor penjelas daripada batas umum lain yang digunakan yaitu “ > 0 CFU/100mL”.

Metode pemilihan *purposeful* (tujuan tertentu) (HOSMER et al., 2013) digunakan untuk memilih faktor risiko pada Tabel 1 yang harus digunakan. Informasi setiap faktor dimasukkan ke dalam sistem informasi geografis⁴ yang memungkinkan nilai-nilai seperti kepadatan populasi dan litologi diperoleh di lokasi rumah tangga, sehingga menciptakan kumpulan data yang sesuai untuk analisis statistik.

Survei SKAM-RT mengambil sampel dari klaster-klaster rumah tangga (10 terdekat) di sekitar lokasi

³ Air minum (who.int)

⁴Perangkat lunak QGIS digunakan

survei di setiap Kelurahan. Analisis statistik perlu memperhitungkan pengelompokan ini karena kemungkinan ada beberapa tingkat korelasi antara rumah tangga dalam satu kelompok, khususnya ketika mempertimbangkan pencemaran air tanah. Oleh karena itu Persamaan Estimasi Umum digunakan dengan perangkat lunak SPSS (IBM, 2021) .

Regresi logistik sesuai dengan persamaan bentuk:

$$\text{logit}(P) = \ln\left(\frac{P}{1-P}\right) = \beta_0 + \beta_1 X_1 + \beta_2 X_2 + \dots + \beta_n X_n$$

Di mana:

P = probabilitas *E coli* > 100 CFU/100mL

β_0 = intersepsi

β_1 = koefisien faktor risiko 1

X_1 = nilai faktor risiko 1

Metode umum persamaan estimasi memberikan prediksi probabilitas rata-rata untuk setiap kluster sampel. Untuk memberikan peringkat risiko, kami ingin memperkirakan probabilitas rata-rata *E coli* > 100 CFU/100mL di sebuah Kota. Untuk melakukan hal tersebut, kami menggunakan data pada setiap faktor risiko terpilih di QGIS untuk menghitung logit(P) dalam area kecil (sekitar 280m x 315m "piksel") yang mendekati skala rumah tangga. Karena model regresi logit bersifat linier, logit(P) rata-rata untuk semua piksel dalam batas administratif kota akan mewakili rata-rata kota. Banyak batas kota mencakup area dengan kepadatan populasi rendah, jadi rata-rata area kecil tidak mencerminkan fakta bahwa sebagian besar orang tinggal di area dengan kepadatan populasi lebih tinggi. Untuk mengatasi hal ini, kami menghitung rata-rata tertimbang populasi (*population weighted*) dari logit dan kemudian menghitung "P" (probabilitas *E coli* > 100 CFU/100mL). "P" ini menggambarkan seberapa besar kemungkinan suatu sumber air tanah memiliki *E coli* > 100 CFU/100mL sehingga kami menggunakannya sebagai istilah "konsekuensi" dalam persamaan risiko.

2.6 Hasil

Tabel 1 merangkum faktor-faktor data kami yang memiliki hubungan signifikan secara statistik terhadap *E coli*. Jenis sumber air, litologi akuifer, curah hujan dalam dua bulan sebelum pengambilan sampel, dan kepadatan populasi, cukup terkait untuk digunakan dalam model. Model paling sesuai yang ditemukan adalah:

$\text{Logit}(P) = -2,882 + 1,063 * (1 \text{ jika sumber air sumur, jika tidak } 0) - 0,461 * (1 \text{ jika litologi akuifer berupa batuan padat atau vulkanik, } 0 \text{ jika batu kapur atau sedimen yang tidak terkonsolidasi}) + 0,129 * (\text{Curah hujan Oktober} + \text{November } 2020 \text{ dalam mm} / 100) + 0,673 * (\text{kepadatan penduduk} - \text{orang per km}^2 / 10.000^5)$.

Persamaan ini sering kali lebih mudah dipahami jika dinyatakan sebagai rasio peluang. Rasio peluang (OR) untuk setiap variabel dihitung sebagai $OR = e^{\beta_i}$. Dengan menggunakan pendekatan ini, kita dapat mengatakan:

Peluang *E. coli* > 100 adalah:

2,9 kali lebih besar apabila sumber airnya adalah sumur gali, bukan sumur bor.

1,6 kali lebih besar apabila litologi akuifer berupa sedimen tak terkonsolidasi atau batu kapur dibandingkan dengan batuan vulkanik atau padat.

1,14 kali lebih mungkin terjadi untuk setiap peningkatan 100 mm curah hujan pada bulan Oktober hingga November.

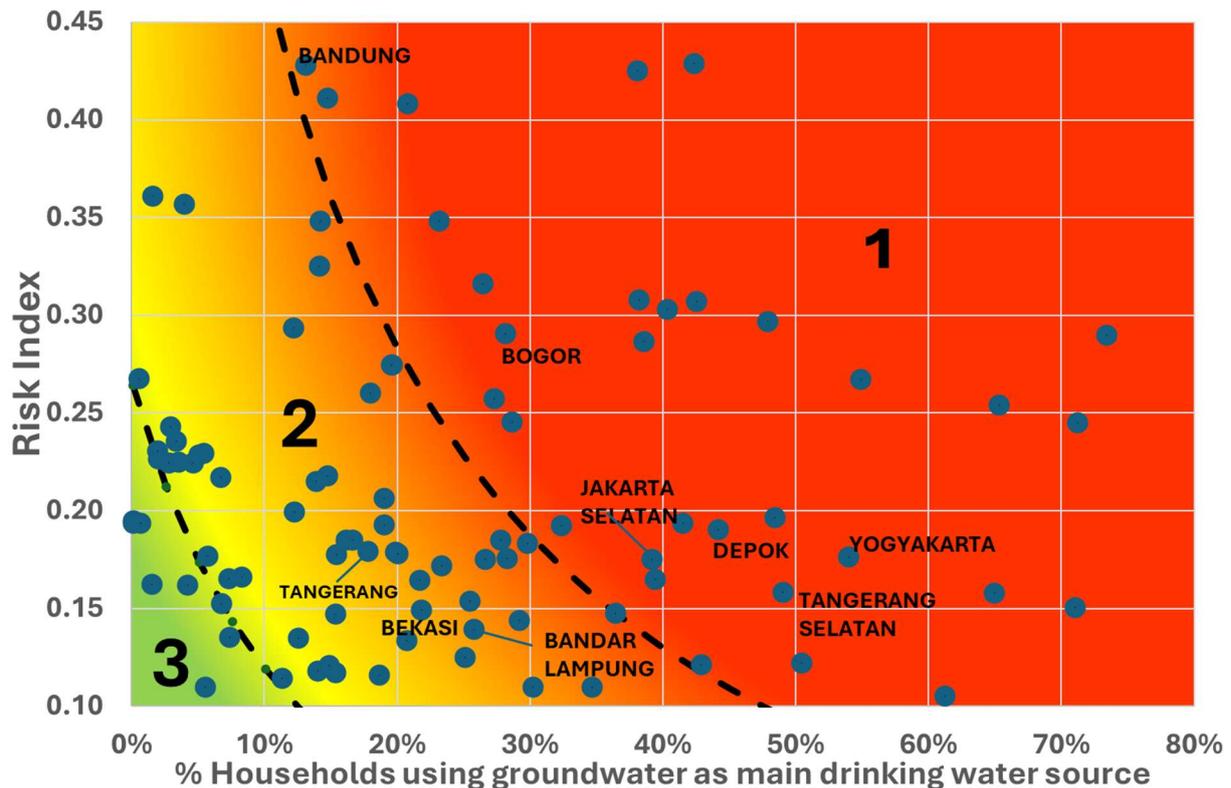
1,8 kali lebih mungkin terjadi untuk setiap peningkatan kepadatan penduduk sebesar 10.000 orang/ km².

⁵Nilai dalam istilah ini dihitung pada piksel berukuran sekitar 280m x 315m dan kemudian nilai tersebut dirasionalkan untuk menyatakan hasil sebagai populasi per km² dibagi 10.000 agar mudah dipahami)

Dengan menggunakan persamaan ini dan menghitung rata-rata tertimbang probabilitas populasi (*population weighted average probability*) *E coli* >100 CFU/10mL untuk setiap Kota, hasilnya dirangkum dalam Lampiran: Output Peringkat Risiko Kota.

Representasi grafis risiko ditunjukkan dalam Gambar 2 dengan membuat plot “P” (kemungkinan pengambilan sampel air tanah yang mengandung *E coli* > 100 CFU/100mL) terhadap proporsi rumah tangga yang menggunakan air tanah. Tiga zona digambarkan dengan zona 1 kota dengan risiko tertinggi (lebih banyak kontaminasi dan penggunaan air tanah yang tinggi untuk minum), zona 2 risiko sedang dan zona 3 risiko lebih rendah. Gradasi warna menunjukkan risiko tertinggi (merah) hingga risiko terendah (hijau).

Gambar 2 Risiko vs Penggunaan Air Tanah



Tampilan peta disediakan dalam Gambar 3.

2.7 Kesimpulan

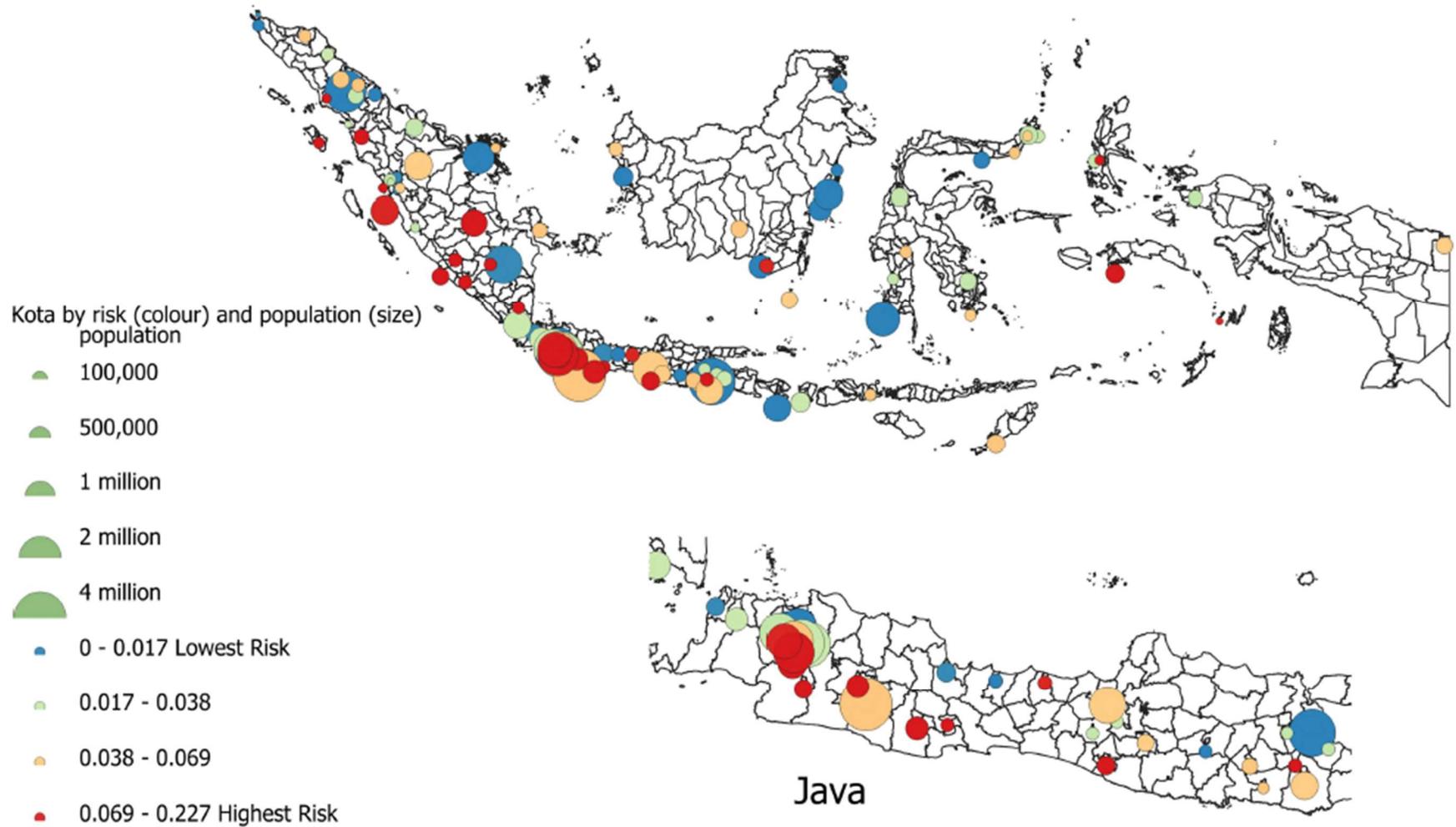
Model pemeringkatan risiko dapat memberikan wawasan mengenai lokasi yang diperkirakan memiliki risiko lebih tinggi, yaitu area dengan kepadatan penduduk tinggi, proporsi sumur gali yang lebih tinggi, dan area dengan sedimen yang tidak terkonsolidasi hingga tingkat tertentu. Menurut kami, hal ini cukup untuk memeringkat kota, dan juga menyadari bahwa risiko kesehatan hanyalah salah satu faktor yang perlu dipertimbangkan saat membuat keputusan investasi.

Ada beberapa batasan penting yang perlu diingat:

- Model tersebut berdasarkan pada *E. coli* yang secara umum meramalkan kontaminasi feses dalam air tanah (Atherholt et al., 2003). Namun, karena virus diketahui dapat menempuh jarak yang lebih jauh dalam air tanah dibandingkan bakteri, sehingga risiko kesehatan dapat tetap ada bahkan ketika *E. coli* tidak terdeteksi (Mbae et al., 2024).
- Pemeringkatan risiko didasarkan pada risiko rata-rata untuk sebuah kota. Di dalam sebuah kota, beberapa lokasi akan memiliki risiko lebih tinggi daripada yang lain. Pembagian risiko ke area yang lebih kecil dapat dipertimbangkan dalam kegiatan (penelitian) berikutnya, tetapi kemungkinan akan terbatas oleh ketersediaan data.
- Model ini tidak memiliki beberapa faktor penjelas yang penting, khususnya kedalaman air

tanah karena kurangnya data akurat yang tersedia. Jadi, model tersebut seharusnya hanya digunakan untuk pemeringkatan tetapi dengan kesadaran bahwa keadaan, seperti kota dengan air tanah yang sangat dangkal, dapat menyebabkan kota tersebut memiliki risiko yang berbeda dari perkiraan model. Kami berharap dapat menghasilkan makalah akademis yang akan lebih mengkaji perbandingan model tersebut dengan data lain.

Gambar 3Peta Kota Berdasarkan Risiko dan Jumlah Penduduk



3 Bagian B. PENGGUNAAN INSPEKSI SANITASI UNTUK MENGURANGI RISIKO

Survei SKAM-RT mencakup inspeksi kesehatan lingkungan, atau survei sanitasi sumber air, bertujuan untuk mengidentifikasi bahaya yang mungkin menyebabkan kontaminasi. Contoh bahaya tersebut adalah kerusakan pada penghalang (misalnya retakan pada dinding sumur) untuk setiap sumber air atau keberadaan sumber kontaminasi. Pertanyaan yang digunakan dalam survei ditunjukkan pada Tabel 2. Seperti yang tertulis dalam Tabel 1, kami tidak menggunakan hasil inspeksi sanitasi dalam pemodelan risiko karena satu-satunya sumber data yang kami miliki adalah survei SKAM-RT yang tidak memiliki hasil yang cukup dari semua kota untuk dapat menghasilkan peringkat kota. Meskipun demikian, penghalang reseptor penting dalam mencegah kontaminasi, karenanya kami memutuskan untuk menyelidiki hubungan antara *E. coli* dan hasil inspeksi sanitasi.

Tabel 2 Pertanyaan Survei Sanitasi untuk Sumur Bor dan Sumur Resapan

Sumur bor	Jumlah "Ya"	Sumur gali	Jumlah "Ya"
Jumlah Total Kasus	358		261
Apakah ada jamban/saluran pembuangan/tangki septik dalam jarak 15m dari sumur bor?	189 (53%)	Apakah ada jamban/saluran pembuangan/tangki septik dalam jarak 15 m dari sumur?	181 (69%)
Apakah ada jamban/saluran pembuangan/tangki septik yang lebih tinggi dari sumur bor, dalam jarak 30m dari sumur bor?	43 (12%)	Apakah ada sumber pencemaran di daerah hulu seperti air limbah dari kegiatan peternakan, rumah pemotongan hewan/unggas dan sejenisnya yang dapat mencemari sumur galian?	15 (6%)
Apakah ada sumber pencemaran lain pada jarak/radius 15 meter dari sumur bor, seperti kotoran hewan/sampah/kolam air kotor dan semacamnya?	46 (13%)	Apakah ada sumber pencemaran lain pada jarak/radius 15 meter dari sumur gali, seperti kotoran hewan/sampah/kolam air kotor dan sejenisnya?	59 (23%)
Apakah pompa rusak atau longgar pada sambungan bawah yang menyentuh lantai, sehingga memungkinkan kontaminan masuk ke dalam lubang?	19 (5%)	Apakah pinggiran/cincin sumur gali tidak diplester dengan sempurna, sehingga menyebabkan air limbah dapat meresap ke dalam sumur gali?	37 (14%)
Apakah ada retakan pada lantai yang menutupi sumur sehingga kontaminan dapat masuk?	47 (13%)	Apakah dinding semen di dalam sumur sedalam 3 meter dari permukaan atas tidak diplester dengan sempurna/cukup rapat?	68 (26%)
Apakah Anda melihat adanya retakan atau kerusakan pada bagian atas dinding bor?	19 (5%)	Apakah lantai semen/plester di sekitar sumur gali memiliki radius/lebar kurang dari 1 meter?	85 (33%)
Apakah saluran pembuangan air limbah hilang atau rusak, sehingga menyebabkan air menggenangi di sekitar sumur bor?	16 (4%)	Apakah saluran pembuangan air limbah hilang atau rusak, sehingga menyebabkan air menggenangi di sekitar sumur?	19 (7%)
Jika sumur bor berada di luar rumah, apakah tidak ada pagar di sekeliling sumur tersebut sehingga binatang (misalnya burung) dapat mencapai sumur bor tersebut?	33 (9%)	Apakah ada genangan air pada jarak 2 meter di sekitar sumur gali?	24 (9%)
		Apakah ada genangan air di lantai semen sekitar sumur gali?	18 (7%)

Sumur bor	Jumlah "Ya"	Sumur gali	Jumlah "Ya"
		Apakah ember dan tali ember untuk menampung air sumur gali diletakkan sembarangan, sehingga memungkinkan terjadinya kontaminasi pada air sumur gali?	17 (7%)

Survei sanitasi disusun sedemikian rupa sehingga jawaban "ya" menunjukkan adanya kerusakan dinding penghalang atau adanya sumber kontaminan yang dekat dengan sumber air. Ada delapan pertanyaan untuk sumur bor dan sepuluh pertanyaan untuk sumur gali. Menambahkan jumlah jawaban "ya" akan menambahkan "skor sanitasi". Ada hubungan yang signifikan antara skor sanitasi dan *E coli* untuk sumur gali, tetapi tidak untuk sumur bor.

Survei sanitasi mencakup pertanyaan tentang keberadaan toilet/sanitasi di lokasi dalam jarak 15m dari sumur bor. Tidak ada hubungan yang signifikan secara statistik antara pertanyaan ini dan *E coli* >100 CFU/100mL.

Melakukan inspeksi sanitasi untuk sumur bor di daerah perkotaan lebih sulit daripada untuk sumur gali karena sering kali yang terlihat hanyalah permukaan sumur bor, yang terkadang dapat ditemukan di dalam rumah. Banyak kerusakan pada casing sumur bor tidak dapat dilihat. Di daerah perkotaan dengan ruang

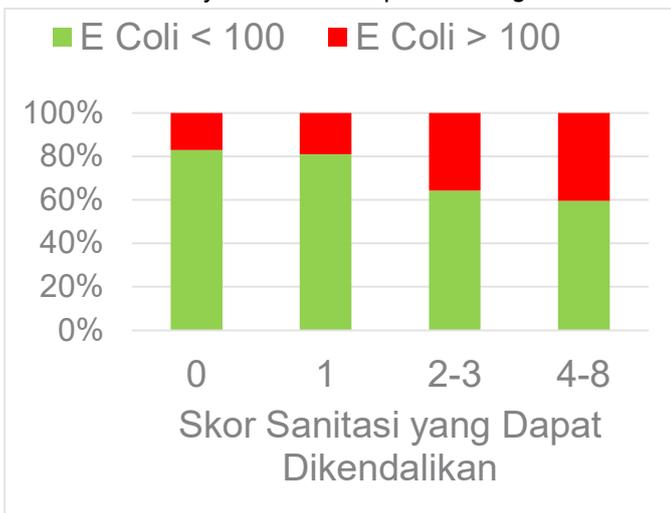


Figure 4 Controllable Sanitary Score - Bores & Wells combined.

yang terbatas, rumah tangga biasanya tidak dapat melakukan tindakan perbaikan jika sistem toilet/sanitasi terlalu dekat. Jadi, "skor sanitasi yang dapat dikontrol" dihitung hanya dengan memasukkan hal-hal yang dapat diperbaiki oleh rumah tangga, sehingga meningkatkan kualitas sumber air mereka. Pertanyaan dalam Tabel 2 yang disorot dengan warna kuning dikecualikan untuk "skor sanitasi yang dapat dikontrol". Plot skor ini terhadap proporsi hasil dengan *E coli berisiko tinggi* ditunjukkan pada Figure 4. Hal ini menunjukkan sumber air dengan skor sanitasi yang dapat dikontrol lebih besar dari 1, memiliki kemungkinan keberadaan lebih tinggi untuk *E coli* > 100 yang mungkin disebabkan oleh kerusakan pada dinding penghalang (pelindung).

Bila semua kejadian dengan skor > 1 dihilangkan dan persamaan logit untuk memprediksi probabilitas *E coli* lebih besar dari 100 CFU/100mL dihitung ulang, maka peluang *E coli* > 100 CFU/100mL bila sumbernya adalah sumur gali dibandingkan dengan sumur bor,

turun dari 2,9 kali menjadi 2,1. Dengan kata lain, menghilangkan sumber air yang diketahui sistemnya memiliki kerusakan membuat perbedaan antara sumur gali dan sumur bor sedikit lebih kecil. Hal ini menunjukkan sebagian alasan sumur gali memiliki tingkat kontaminasi yang lebih tinggi daripada sumur bor adalah kontaminasi yang lebih besar dari sumber permukaan yang masuk melalui patahan/kerusakan (atau tidak adanya dinding pelindung).

Sudah sering menjadi perdebatan bahwa menggabungkan pertanyaan untuk membuat "skor" bukanlah pendekatan terbaik (Kelly et al., 2020) dan juga pedoman WHO terbaru tidak menyertakan hal ini pada sistem penilaian (WHO, 2024). Oleh karena itu, kami juga memperhatikan pertanyaan satu per satu untuk menentukan pertanyaan mana yang memiliki hubungan signifikan secara statistik dengan *E coli* > 100 CFU/100mL dan pertanyaan-pertanyaan tersebut ditunjukkan pada Tabel 3.

Tabel 3 Hubungan Antara Pertanyaan Survei Sanitasi Individual dan *E coli* > 100.

Pertanyaan	Rasio Peluang	“p” – signifikansi statistik
Sumur bor		
Apakah ada genangan air di lantai semen sekitar sumur gali?	3.1	0,028
Sumur gali		
Apakah pinggiran/cincin sumur gali tidak diplester dengan sempurna, sehingga menyebabkan air limbah meresap ke dalam sumur gali?	2.3	0,001
Apakah saluran pembuangan air limbah hilang atau rusak, sehingga menyebabkan air menggenang di sekitar sumur?	2.5	0,029

Semua pertanyaan ini menyiratkan bahwa kerusakan pada dinding penghalang (pelindung) baik pada sumur bor maupun sumur gali terkait dengan, dan karenanya dapat menjadi penyebab, beberapa kontaminasi. Oleh karena itu, kami membuat rekomendasi 4 dalam ringkasan kebijakan (*policy brief*) bahwa “Inspeksi sanitasi sumur gali dan sumur bor dapat digunakan untuk membantu mengurangi risiko”.

4 Lampiran: Output Peringkat Risiko Kota

Skor risiko pada Tabel 4 adalah “akibat” x “paparan”, yaitu “perkiraan kemungkinan *E. coli* >100” x “proporsi rumah tangga yang menggunakan air tanah sebagai sumber air minum utama”.

Tabel 4 Peringkat Risiko Kota

Nama Kota	Populasi (2020)	% sumber air tanah berupa sumur	Curah Hujan Bulan Okt-Nov 2020	Rata-rata kemungkinan <i>E coli</i> > 100 CFU/100mL	% Rumah tangga yang menggunakan air tanah untuk minum	Skor Risiko
Kota Pagar Alam	144.000	56%	747	0.251	91%	0.227
Kota Lubuklinggau	234.000	77%	787	0.290	73%	0.213
Kota Gunungsitoli	136.000	39%	625	0.429	42%	0.182
Kota Prabumulih	193.000	98%	628	0,245	71%	0,175
Kota Subulussalam	91.000	76%	624	0.254	65%	0.166
Kota Ambon	347.000	33%	249	0.425	38%	0.162
Kota Padangsidempuan	225.000	84%	488	0,267 tahun	55%	0,147 tahun
Kota Pariaman	94.000	51%	975	0.297	48%	0.142
Kota Tasikmalaya	716.000 orang	54%	1.019 tahun	0.307	43%	0.131
Kota Bengkulu	374.000	80%	938	0.303	40%	0.122
Kota Banjar	201.000	53%	829	0,308	38%	0.118

Nama Kota	Populasi (2020)	% sumber air tanah berupa sumur	Curah Hujan Bulan Okt-Nov 2020	Rata-rata kemungkinan <i>E coli</i> > 100 CFU/100mL	% Rumah tangga yang menggunakan air tanah untuk minum	Skor Risiko
Kota Sukabumi	346.000	32%	896	0.286	39%	0.111
Kota Batu	213.000	60%	412	0.151	71%	0.107
Kota Metro	169.000	69%	386	0,158	65%	0.103
Kota Yogyakarta	374.000	37%	465	0,176 tahun	54%	0,095
Kota Tidore Kepulauan	114.000	83%	237	0.196	48%	0,095
Kota Jambi	606.000	84%	649	0.408	21%	0,085
Kota Depok	2.056.000	8%	698	0.190	44%	0,084 tahun
Kota Cimahi	568.000	20%	652	0.316	26%	0,084 tahun
Kota Bogor	1.043.000	41%	929	0.291	28%	0,082
Kota Padang	909.000	64%	777	0,348 tahun	23%	0,081 tahun
Kota Pekalongan	307.000	46%	364	0.194	41%	0,080
Kota Tangerang Selatan	1.354.000	1%	588	0,158	49%	0,078 tahun
Kota Banjar Baru	253.000	95%	415	0.246	29%	0,070
Kota Tual	88.000	89%	261	0,258	27%	0,070
Kota Jakarta Selatan	2.265.000	4%	515	0,175	39%	0,069 tahun
Kota Kupang	443.000	42%	111	0,165	39%	0,065 tahun
Kota Kediri	287.000	5%	195	0,105	61%	0,064 tahun
Kota Tanjung Pinang	228.000	85%	553	0.192	32%	0,062
Kota Tebing Tinggi	173.000	3%	536	0.122	50%	0,062
Kota Palopo	185.000	91%	507	0.411	15%	0,061 tahun
Kota Blitar	149.000	32%	300	0,090	65%	0,059 tahun

Nama Kota	Populasi (2020)	% sumber air tanah berupa sumur	Curah Hujan Bulan Okt-Nov 2020	Rata-rata kemungkinan <i>E coli</i> > 100 CFU/100mL	% Rumah tangga yang menggunakan air tanah untuk minum	Skor Risiko
Kota Bandung	2.444.000	20%	642	0.428	13%	0,056 tahun
Kota Binjai	292.000	19%	584	0.184	30%	0,055
Kota Lhokseumawe	189.000	84%	525	0,275	20%	0,054 tahun
Kota Palangka Raya	293.000	3%	507	0,275	20%	0,054 tahun
Kota Kotamobagu	124.000	43%	218	0,148	36%	0,054 tahun
Kota Bima	155.000	8%	123	0.122	43%	0,052
Kota Pangkal Pinang	219.000	21%	693	0,185	28%	0,051 tahun
Kota Baru	#Tidak tersedia	50%	433	0,176 tahun	28%	0,050
Kota Singkawang	235.000	52%	598	0,348 tahun	14%	0,049 tahun
Kota Baubau	159.000	44%	217	0.260	18%	0,047 tahun
Kota Tomohon	101.000	24%	255	0,094 tahun	50%	0,047 tahun
Kota Sawah Lunto	65.000	62%	589	0,175	27%	0,047 tahun
Kota Jayapura	398.000	31%	560	0,325	14%	0,046 tahun
Kota Surakarta	522.000	13%	427	0,144 tahun	29%	0,042 tahun
Kota Malang	844.000	46%	329	0.172	23%	0,040
Kota Pekanbaru	983.000	14%	686	0.207	19%	0,039
Kota Semarang	1.654.000	17%	476	0.154	26%	0,039
Kota Serang	692.000	6%	423	0.110	35%	0,038
Kota Mataram	430.000	44%	272	0.193	19%	0,037 hari

Nama Kota	Populasi (2020)	% sumber air tanah berupa sumur	Curah Hujan Bulan Okt-Nov 2020	Rata-rata kemungkinan <i>E coli</i> > 100 CFU/100mL	% Rumah tangga yang menggunakan air tanah untuk minum	Skor Risiko
Kota Bandar Lampung	1.166.000	27%	394	0.140	26%	0,036 hari
Kota Sibolga	90.000	43%	717	0.294	12%	0,036 hari
Kota Langsa	186.000	16%	583	0,178	20%	0,036 hari
Kota Salatiga	192.000	55%	540	0.164	22%	0,036 hari
Kota Jakarta Timur	2.938.000	6%	485	0,179 tahun	20%	0,036 hari
Kota Probolinggo	240.000	1%	99	0.110	30%	0,033
Kota Bekasi	2.544.000	3%	493	0,149	22%	0,033
Kota Sungai Penuh	97.000	61%	558	0.218	15%	0,032
Kota Tangerang	1.895.000	4%	449	0,179 tahun	18%	0,032
Kota Palu	373.000	11%	316	0,125	25%	0,031
Kota Parepare	151.000	26%	393	0,185	17%	0,031
Kota Padang Panjang	56.000	65%	552	0,185	16%	0,030
Kota Sorong	284.000	33%	537	0.215	14%	0,030
Kota Kendari	345.000	33%	221	0,134 tahun	21%	0,028
Kota Magelang	122.000	14%	612	0,178	15%	0,027
Kota Dumai	317.000	14%	630	0,199	12%	0,024
Kota Bukittinggi	121.000	8%	527	0,147 tahun	15%	0,023
Kota Manado	452.000	34%	298	0.116	19%	0,022
Kota Pasuruan	208.000	3%	88	0,096 tahun	21%	0,020
Kota Mojokerto	132.000	1%	147	0.121	15%	0,018
Kota Bitung	225.000	31%	279	0.117	15%	0,018
Kota Ternate	205.000	8%	257	0,135	13%	0,017 tahun
Kota Pematang Siantar	268.000	0%	552	0.118	14%	0,017 tahun

Nama Kota	Populasi (2020)	% sumber air tanah berupa sumur	Curah Hujan Bulan Okt-Nov 2020	Rata-rata kemungkinan <i>E coli</i> > 100 CFU/100mL	% Rumah tangga yang menggunakan air tanah untuk minum	Skor Risiko
Kota Sabang	41.000	67%	845	0.217	7%	0,015
Kota Palembang	1.669.000	70%	620	0.357	4%	0,014 tahun
Kota Payakumbuh	140.000	66%	525	0.166	8%	0,014 tahun
Kota Cilegon	435.000	23%	411	0.114	11%	0,013
Kota Cirebon	333.000	28%	346	0.229	5%	0,013
Kota Makassar	1.424.000	7%	329	0,165	7%	0,012
Kota Medan	2.435.000	25%	558	0.229	5%	0,012
Kota Tarakan	243.000	14%	796	0,225	5%	0,010
Kota Gorontalo	199.000	18%	173	0.153	7%	0,010
Kota Jakarta Pusat	928.000	7%	402	0,177 tahun	6%	0,010
Kota Madiun	195.000	12%	324	0,135	7%	0,010
Kota Balikpapan	688.000	50%	530	0,225	4%	0,008
Kota Jakarta Barat	2.590.000	0,01%	395	0.236	3%	0,008
Kota Batam	1.196.000	71%	523	0.243	3%	0,007 tahun
Kota Jakarta Utara	1.828.000	12%	342	0.162	4%	0,007 tahun
Kota Solok	73.000 orang	67%	582	0,225	3%	0,006
Kota Denpasar	725.000 orang	18%	257	0.110	6%	0,006
Kota Banda Aceh	253.000	100%	779	0.361	2%	0,006
Kota Tegal	274.000	58%	339	0.230	2%	0,005
Kota Tanjung Balai	176.000	0%	458	0.227	2%	0,005
Kota Surabaya	2.874.000	29%	143	0.162	2%	0,002
Kota Bontang	179.000	67%	451	0.268	1%	0,001
Kota Samarinda	828.000	25%	498	0.194	1%	0,001
Kota Pontianak	659.000	0%	686	0.194	0%	0.000
Kota Banjarmasin	658.000	0%	427	0,195	0%	0.000

5 REFERENSI

- Atherholt, T., Feerst, E., Hovendon, B., Kwak, J., & Rosen, JD (2003). Evaluasi indikator kontaminasi tinja dalam air tanah. *JURNAL AMERICAN WATER WORKS ASSOCIATION* , 95 (10), 119-131.
- Bain, R., Johnston, R., Khan, S., Hancioglu, A., & Slaymaker, T. (2021). Pemantauan Kualitas Air Minum dalam Survei Rumah Tangga yang Mewakili Secara Nasional di Negara-negara Berpenghasilan Rendah dan Menengah: Analisis Lintas Seksi dari 27 Survei Kelompok Indikator Ganda 2014–2020. *Environmental Health Perspectives* , 129 (9), 097010. <https://doi.org/10.1289/EHP8459>
- BPS-Statistik Indonesia. (2020). *Survei Sosial Ekonomi Nasional (SUSENAS)* . <https://www.bps.go.id/>
- Fan, Y., Li, H., & Miguez-Macho, G. (2013). Pola Global Kedalaman Muka Air Tanah. *Jurnal Sains* , 339 (6122), 940-943. <https://doi.org/10.1126/science.1229881>
- Genter, F., Putri, GL, Maysarah, S., Rolia, E., Pratama, MA, Priadi, C., Willetts, J., & Foster, T. (2023). Hubungan antara musim dan kontaminasi feses pada sumber air minum mandiri di perkotaan Indonesia. *Jurnal Air, Sanitasi, dan Higiene untuk Pembangunan* , 13 (10), 793-800. <https://doi.org/10.2166/washdev.2023.060>
- Hartmann, J., & Moosdorf, N. (2012). *Basis Data Peta Litologi Global v1.0 (dengan resolusi spasial 0,5°)* PANGAEA. <https://doi.org/10.1594/PANGAEA.788537>
- HOSMER, DWJ, LEMESHOW, S., & STURDIVANT, RX (2013). *Regresi Logistik Terapan* (edisi ke-3). Wiley.
- IBM. (2021). *IBM SPSS Statistics untuk Windows* . Dalam (Versi 28.0.0.0 (190)) IBM Corp.
- Irianto, J. (2020). *Laporan Hasil Penelitian Studi Kualitas Air Minum Rumah Tangga di Indonesia* . Pusat Penelitian Gabungan, JRCEC, & Pusat Jaringan Informasi Ilmu Bumi Internasional, CCU
- (2021). *Lapisan Pemukiman Manusia Global: Estimasi Populasi dan Bangunan, dan Tingkat Urbanisasi Jaringan Model Pemukiman* Pusat Data dan Aplikasi Sosial Ekonomi NASA (SEDAC). <https://doi.org/10.7927/h4154f0w>
- Kelly, ER, Cronk, R., Kumpel, E., Howard, G., & Bartram, J. (2020). Bagaimana kita menilai keamanan air: Tinjauan kritis terhadap inspeksi sanitasi dan analisis kualitas air. *The Science of the total environment* , 718 , 137237-137237. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.137237>
- Kostyla, C., Bain, R., Cronk, R., & Bartram, J. (2015). Variasi musiman kontaminasi tinja pada sumber air minum di negara berkembang: Tinjauan sistematis. *Science of The Total Environment* , 514 , 333-343. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2015.01.018>
- Mbae, M., Hansen, P., Way, C., Mills, F., Willetts, J., Foster, T., & Evans, B. (2024). Sistem sanitasi di tempat dan pencemaran air tanah: Tinjauan sistematis bukti risiko menggunakan model sumber-jalur-reseptor. *PLOS Water* , 3 (7), e0000167. <https://doi.org/10.1371/journal.pwat.0000167>
- Tillett., HE (1993). Potensi ketidakakuratan hitungan mikrobiologi dari sampel air rutin. *Ilmu dan Teknologi Perairan* , 27 (3-4), 15-18.
- WHO. (2024, 15 Februari 2024). *Inspeksi sanitasi untuk persediaan air minum* . Organisasi Kesehatan Dunia. Diperoleh pada 2 Agustus 2024 dari <https://www.who.int/teams/environment-climate-change-and-health/water-sanitation-and-health/water-safety-and-quality/water-safety-planning/sanitary-inspection-packages>

Learn more

dfat.gov.au

waterforwomen.uts.edu.au

waterforwomenfund.org

This document is an output from research funded by Department of Foreign Affairs and Trade (DFAT). The views and opinions expressed in this document are those of the authors and do not necessarily reflect the views of DFAT or the Australian Government.