



POLICY BRIEF 2019/3

Pengelolaan kualitas sumber daya air pesisir berkaitan dengan keluaran air tanah lepas pantai (KALP): studi kasus di Indonesia

RINGKASAN

Keluaran air tanah lepas pantai (KALP) didefinisikan sebagai aliran air tanah dari darat ke laut yang melewati batasan bawah laut. Banyak studi mengemukakan bahwa KALP membawa unsur hara, logam berat, and bakteri koliform ke perairan pantai. Zat dan material yang dibawa oleh KALP dapat menyebabkan eutrofikasi, perubahan komunitas bakteri, bentik, dan ikan di pesisir pantai, serta penurunan kualitas habitat dan ekosistem pantai seperti terumbu karang dan mangrove.

Di daerah tropis, seperti Asia Tenggara, informasi dan publikasi tentang studi KALP belum dilakukan secara maksimal. Dari segi geologi, daerah tropis memiliki karakter spesifik yang berpotensi menghasilkan *hotspot* untuk KALP, diantaranya permeabilitas akuifer yang tinggi, tingkat pelapukan yang cepat, mineral bebatuan yang kaya unsur hara, dan ekosistem alami yang aktif. Asia Tenggara dikategorikan sebagai salah satu wilayah padat penduduk dengan modifikasi penggunaan lahan pantai yang tinggi, sehingga dapat mempengaruhi kualitas KALP dari segi kontaminan yang dihasilkan oleh aktivitas manusia. Berdasarkan kondisi tersebut, ada tiga topik utama yang akan dibahas yaitu:

- Kuantitas dan komposisi dari KALP, terutama terkait dengan unsur hara yang berasal dari daerah urban,
- Efek KALP terhadap kualitas lingkungan dan kesehatan manusia, dan
- Rekomendasi kebijakan pengelolaan kualitas air berdasarkan hasil studi KALP.

Poin Utama

- KALP menghubungkan air tanah di darat dan laut
- KALP membawa unsur hara dari darat ke laut
- KALP berpotensi untuk membawa bakteri koliform dan pathogen dari darat ke laut
- Kondisi geologi dan level aktivitas manusia di daerah pantai mempengaruhi kualitas KALP
- KALP dapat mengubah parameter fisika dan kimia di perairan pantai
- Di daerah tropis, KALP dipengaruhi oleh dinamika musim/iklim dan dalam skala kecil, siklus pasang surut air laut

Rekomendasi

- Mengontrol potensi polutan atau input unsur hara yang masuk ke dalam akuifer dengan memperhitungkan bahwa air tanah akan mengalir ke laut
- Memperbaharui sistem sanitasi di daratan
- Melakukan pemantauan kualitas air secara berkala
- Memastikan transparansi dari jaringan pengelola air, baik dari pemerintah maupun institusi swasta
- Memperketat penerapan regulasi lingkungan
- Menginformasikan kondisi di darat dan pantai untuk mengembangkan strategi pengelolaan KALP yang tepat
- Mempelajari karakteristik KALP dari perspektif darat dan laut sebelum menyusun regulasi yang berkaitan dengan kualitas air KALP

LATAR BELAKANG

Indonesia, negara tropis dengan garis pantai terpanjang di Asia Tenggara, memiliki kondisi hidrogeologi yang tepat untuk KALP karena memiliki curah hujan dan permeabilitas akuifer yang tinggi. Sekitar 60% dari penduduk Indonesia bermukim di wilayah pesisir pantai dan persentase ini berpotensi untuk bertambah seiring meningkatnya kontribusi dari sektor maritim terhadap ekonomi nasional. Tingkat biodiversitas pantai dan laut di Indonesia adalah salah satu yang tertinggi di dunia. Sebagai contoh, Indonesia memiliki luas terumbu karang sebesar 75,000 km² dan hutan bakau atau mangrove seluas 76% dari total luas mangrove di Asia Tenggara.

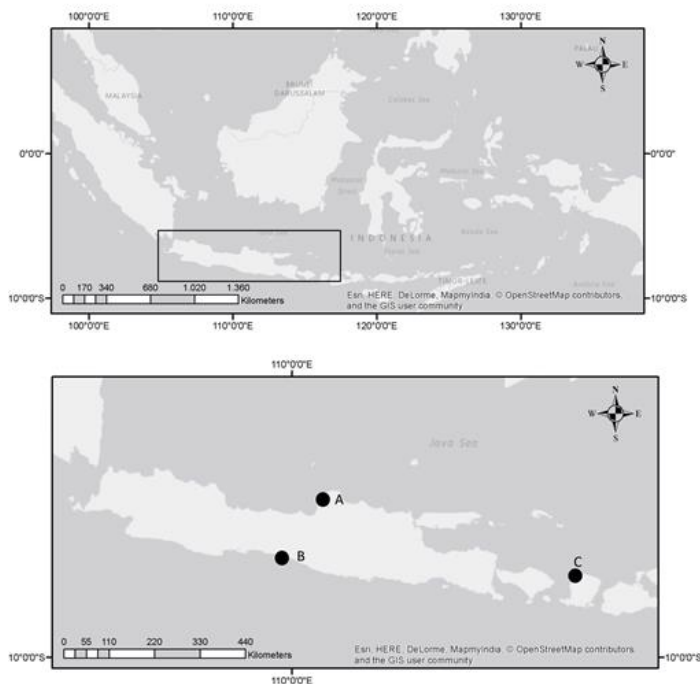
Berikut ini dilaporkan hasil penelitian dari tiga lokasi studi KALP di Indonesia (Gambar 1). Dua lokasi terletak di Pulau Jawa, pulau dengan populasi penduduk terpadat di Indonesia, dan lokasi ketiga terletak di Pulau Lombok. Lokasi pertama, Jepara adalah sebuah kota di pantai utara Pulau Jawa. Kondisi geologi di Jepara terdiri dari sebuah strato-volcano (Gunung Muria, 1602 m), akuifer yang luas, dan produk alluvial yang ditemukan di daerah pantai umumnya berasal dari material vulkanik. Di daerah ini, KALP muncul sebagai rembesan air di pantai dan bawah laut.

Gunung Kidul, terletak di pantai selatan Pulau Jawa, adalah lokasi kedua dari studi KALP. Kondisi geologi daerah ini didominasi oleh karst. KALP muncul di

perairan pantai sebagai sungai bawah laut, sumur bawah laut, dan sumur pantai (Gambar 2). Warga setempat kadang menggunakan sumur ini sebagai sumber air tawar. Pertanian di lahan kering dan peternakan, adalah sektor dominan di daerah yang memiliki populasi sebanyak 730,000 penduduk ini.

Kondisi geologi di Pulau Lombok, lokasi studi yang ketiga, didominasi oleh daerah tektonik dan vulkanik aktif. Di Pulau Lombok, KALP muncul sebagai sumur bawah laut (Gambar 2). Delapan sumur bawah laut ditemukan di lokasi studi ini, beberapa diantaranya telah diperkuat dengan beton oleh warga setempat dan digunakan sebagai sumber air tawar. Beberapa dari sumur bawah laut ini berlokasi tepat di daerah terumbu karang, dengan panjang sekitar 700 meter paralel terhadap garis pantai dan 200 meter dari garis pantai.

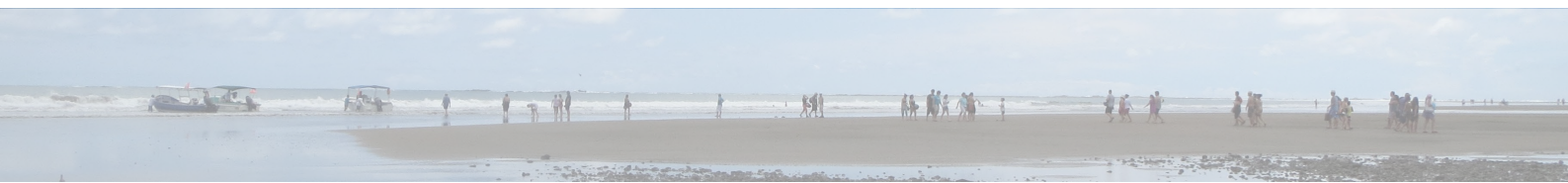
Untuk menjawab tujuan penelitian terkait dengan kuantitas KALP, telah diaplikasikan beberapa metode yaitu : (a) radon sebagai *tracer* untuk KALP di Jepara, (b) pengukuran flux sungai bawah tanah di Gunung Kidul, dan (c) kombinasi dari pengukuran estimasi *recharge*, profil *echosounder*, dan analisis isotop hidrokimia di Lombok. Untuk mengidentifikasi komposisi dari KALP dilakukan pengukuran konsentrasi unsur hara dan komposisi dari komunitas mikroba dari lokasi studi.



Gambar 1. Peta Indonesia (atas) dan Pulau Jawa dan Nusa Tenggara (bawah), dan lokasi studi di (A) Jepara, (B) Gunung Kidul, dan (C) Lombok



Gambar 2. Keluaran air tanah lepas pantai di Gunung Kidul (atas) dan Lombok (bawah)



HASIL PENELITIAN

Kuantitas dan komposisi KALP

Pengukuran kuantitas KALP dilakukan di tiga lokasi studi di Indonesia. Telah ditemukan bahwa kondisi geologi yang berbeda di tiga lokasi tersebut berakibat pada kuantitas KALP yang berbeda juga. Sebagai contoh, debit KALP dari daerah karst Gunung Kidul terhitung dua kali lebih besar dibanding debit KALP dari Jepara. Hal ini disebabkan oleh karakteristik aliran air di daerah karst yang didominasi oleh *focused/piston flow*, sedangkan karakteristik aliran KALP di Jepara terdiri dari *diffused flow* yang biasa terjadi di litologi sedimen vulkanik. Di Lombok, kami menemukan bahwa debit KALP berbeda-beda tergantung dari jenis morfologi sumur bawah laut.

Di penelitian ini, juga ditemukan bahwa kuantitas KALP dalam skala lokal dipengaruhi oleh siklus pasang surut air laut, dimana aliran air tanah yang lebih tinggi terukur saat surut di daerah pantai. Data dari semua lokasi studi menunjukkan bahwa KALP membawa unsur hara seperti nitrogen dan fosfor dari darat ke laut (Gambar 3). Walaupun konsentrasi nitrogen dan fosfor berubah dalam perjalanannya dari darat ke laut karena berbagai proses biogeokimia di akuifer, zat hara yang terukur dari mulut KALP di perairan pantai masih terhitung signifikan. Beberapa proses yang dapat mempengaruhi dinamika konsentrasi unsur hara diantaranya siklus biogeokimia yang dimediasi oleh mikroba (misal, amonifikasi, nitrifikasi, denitrifikasi), serapan biologis dari komunitas bentik dan pelagik, atau proses fisika (misal pengenceran oleh air laut, adsorpsi-desorpsi). Di Jepara, KALP berkontribusi dalam memberikan input unsur hara sebanyak 23% untuk nitrogen dan 20% untuk fosfor ke perairan pantai dibandingkan dengan kontribusi dari sungai. Di skala global, kontribusi KALP diperkirakan

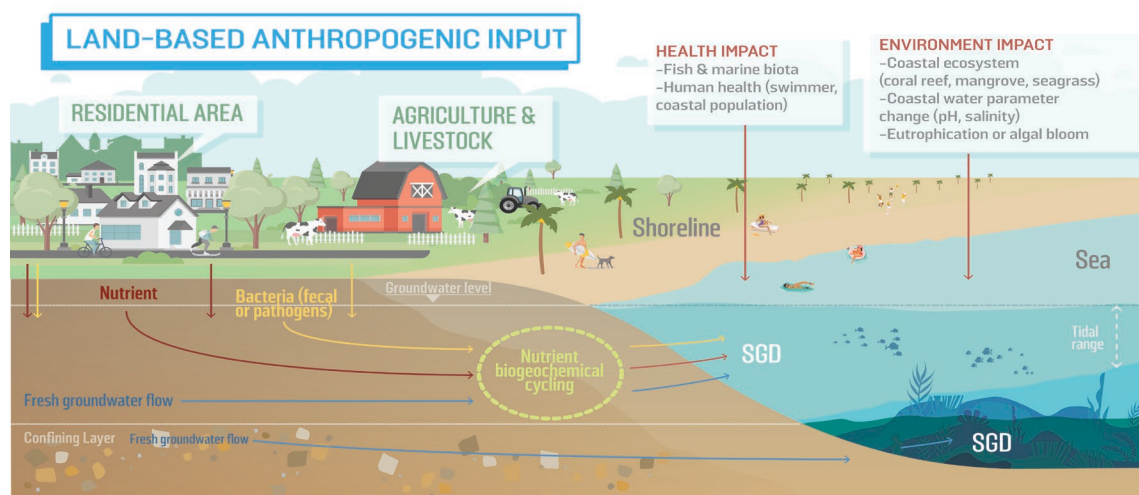
mencapai kisaran 2-7.5% (Beusen et al., 2013).

Tingginya curah hujan yang terjadi di daerah tropis juga menjadi salah satu faktor utama yang mempengaruhi dinamika debit KALP. Data pengukuran selama 1 tahun yang dilakukan di daerah karst Gunung Kidul menunjukkan bahwa terjadi perbedaan debit KALP yang signifikan diantara musim kemarau dan musim hujan. Konsentrasi nitrogen dan fosfor tertinggi di perairan pantai terukur terutama setelah periode hujan yang deras dan konstan di musim hujan.

Berdasarkan analisis penggunaan lahan, kami menemukan bahwa aktivitas antropogenik merupakan sumber utama dari unsur hara yang terkandung di KALP. Kontribusi terbesar berasal dari pertanian (pupuk) dan air limbah rumah tangga. Air limbah berkontribusi besar karena tidak adanya sistem pembuangan limbah cair terpusat serta hanya 70% penduduk mendapatkan akses ke fasilitas sanitasi di daerah studi kami. Hasil analisis mikrobiologi yang dilakukan sangat mendukung hasil ini, dimana bakteri fekal, koliform dan potensial patogen ditemukan di sampel air KALP (seperti *Vibrio*, *Escherichia-Shigella*, dan *Prevotella*). Ditemukannya bakteri-bakteri tersebut merupakan tanda bahwa telah terjadi kontaminasi limbah cair yang berasal dari manusia atau hewan. Di Gunung Kidul, warga lokal memiliki kebiasaan untuk membuang sampah via *sinkhole*, dimana *sinkhole* tersebut terkoneksi terhadap sungai bawah tanah dan pantai.

Efek KALP terhadap kualitas lingkungan dan kesehatan manusia

Banyak studi KALP yang dilakukan di berbagai belahan dunia menemukan bahwa unsur hara yang dibawa oleh KALP ke perairan pantai menimbulkan efek negatif



Gambar 1. KALP berpotensi membawa polutan dan unsur hara dari darat ke laut

terhadap lingkungan, seperti eutrofikasi dan berkembangnya alga yang beracun. Status kualitas air pantai Jepara sudah mencapai level eutrofikasi, sehingga KALP yang membawa unsur hara dari darat ke laut berpotensi untuk memperburuk kondisi lingkungan di perairan pantai. Di sepanjang pantai Gunung Kidul, level fosfor tinggi yang terdeteksi di daerah KALP dapat menimbulkan berkembangnya alga yang beracun atau mengubah ekosistem rumput laut di sepanjang garis pantai. Di Lombok, ditemukan bahwa kombinasi dari konsentrasi unsur hara, salinitas dan pH rendah yang dibawa oleh KALP telah mengubah komposisi dan keanekaragaman spesies dari terumbu karang.

Salah satu hasil dari penelitian juga mengindikasikan bahwa KALP dapat menjadi jalur pemindahan dari darat ke laut bagi bakteri fekal, koliform, dan patogenik yang berasal dari limbah cair manusia dan hewan. Hasil ini perlu ditindaklanjuti dan menjadi perhatian pemerintah daerah karena perairan pantainya digunakan sebagai tempat pariwisata (Jepara) dan sumur dan mata air bawah laut digunakan sebagai sumber air tawar bagi masyarakat sekitar (Lombok dan Gunung Kidul). Berdasarkan hasil analisis mikrobiologi kami, perlu dilakukan tes lanjutan seperti analisis gen fungsional atau menerapkan teknologi identifikasi mikroba dengan level taksonomi yang lebih tinggi untuk mengetahui level patogenitas dari bakteri yang ditemukan.

REKOMENDASI KEBIJAKAN

Dalam konteks global, kebijakan terkait dengan KALP masih jarang ditemukan. Sejauh ini, hanya IOC-UNESCO yang telah menerbitkan panduan kebijakan terkait dengan kualitas KALP untuk pengelola daerah pantai. Di Indonesia, regulasi mengenai KALP belum ditemukan di regulasi lingkungan, terutama disebabkan oleh karakteristik debit dan komposisi KALP yang sangat dinamis. Salah satu alasan mengapa pengukuran dan pemantauan KALP tergolong sulit adalah belum adanya keseragaman metodologi. Oleh karena itu, pendekatan regulasi KALP yang paling memungkinkan adalah dengan cara **mengontrol potensi sumber polutan atau unsur hara ke dalam akuifer pantai di daerah recharge KALP**. Salah satu cara untuk mengaplikasikan metode ini adalah dengan memperluas jaringan distribusi limbah cair, memperbaharui sistem pengelolaan limbah cair, atau memodifikasi praktek pertanian, terutama di daerah pesisir pantai yang sensitif. Di daerah dimana aliran air tanah lebih banyak berakhir ke sungai daripada ke laut via pantai (e.g. Jepara), salah satu metode yang dapat direkomendasikan adalah membangun sistem yang dapat mengurangi unsur hara yang terbawa oleh air tanah di pinggir sungai, seperti *wetland* atau penanaman vegetasi di zona pinggir sungai.

Pemantauan kualitas air secara regular juga merupakan salah satu metode yang dapat diaplikasikan untuk memahami karakteristik air tanah di pesisir pantai. Salah satu metode yang dapat diaplikasikan adalah dengan membangun sumur pemantauan, suatu hal yang tidak ditemukan di lokasi studi kami. Rekomendasi lain yang dapat diterapkan adalah **memetakan jaringan lembaga pengelola air dengan transparan untuk meningkatkan efisiensi koordinasi intra-lembaga yang berkaitan dengan manajemen sumber daya air**. Dengan adanya transparansi tersebut, diharapkan juga memberikan konsekuensi berupa pelaksanaan dan penerapan regulasi yang lebih kuat dari pihak pemerintah. Selain fokus ke sisi daratan, perspektif mengenai KALP dari sisi kelautan juga diperlukan untuk mengkarakterisasi efek dari KALP di perairan pantai. Walaupun banyak studi yang memperlihatkan efek negatif dari KALP terhadap perairan pantai, terdapat juga studi yang melaporkan dampak positif dari KALP, terutama di daerah perairan oligotrofik. Oleh karena itu, salah satu metode yang dapat diterapkan adalah **melakukan penilaian karakteristik KALP dari perspektif darat dan laut sebelum menyusun regulasi yang berkaitan dengan KALP**.

REFERENCES

- Moosdorf, N., Stieglitz, T., Waska, H., Dürr, H.H., Hartmann, J., 2015. *Submarine groundwater discharge from tropical islands: a review*. *Grundwasser*, 20(1): 53-67.
- Adyasari, D., Oehler, T., Afiati, N., Moosdorf, N. 2018. *Groundwater nutrient inputs into an urbanized tropical estuary system in Indonesia*. *Sci. Total Environ.* 627, 1066-1079.
- Oehler, T., Eiche, E., Putra, D., Adyasari, D., Mallast, U., Moosdorf, N. 2018. *Seasonal variability of land-ocean groundwater nutrient fluxes from a tropical karstic region (southern Java, Indonesia)*. *J. Hydrol.* 565, 662-671.
- Adyasari, D., Oehler, T., Afiati, N., Moosdorf, N., 2019. *Environmental impact of nutrient fluxes associated with submarine groundwater discharge at an urbanized tropical coast*. *Estuar. Coast. Shelf Sci.* 221, 30-38.
- Adyasari, D., Hassenrück, C., Oehler, T., Sabdaningsih, A., Moosdorf, N. 2019. *Microbial community composition associated with submarine groundwater discharge site in northern Java (Indonesia)*. *Sci. Total Environ.* 689: 590-601.
- Oehler, T., Bakti, H., Lubis, R.F., Purwoarminta, A., Delinom, R., Moosdorf, N. 2019. *Nutrient dynamics in submarine groundwater discharge through a coral reef (western Lombok, Indonesia)*. *Limnol Oceanogr.* 9999: 1-16.
- Beusen, AHW., Slomp, CP., and Bouwman, AF. 2013. *Global land-ocean linkage: direct inputs of nutrient to coastal waters via submarine groundwater discharge*. *Env. Res. Letters*, 8 34-35.

ABOUT THIS POLICY BRIEF

This Policy Brief is part of a series aiming to inform policy-makers on the key results of the ZMT research projects and provide recommendations to policy-makers based on research results. The series of ZMT Policy Briefs can be found at <https://www.leibniz-zmt.de/en/research/publications/policy-briefs.html>. This publication was commissioned, supervised and produced by ZMT. DOI: 10.21244/zmt.2016.001

DISCLAIMER

The policy recommendations made do not necessarily reflect the views of the ZMT or its partners.

IMPRINT

Authors: Dini Adyasari, Nils Moosdorf.

The authors are affiliated with the Leibniz Centre for Tropical Marine Research.

You can find more information about the project [here](#).

Published by the Leibniz Centre for Tropical Marine Research.

Fahrenheitstr. 6, D-28359 Bremen, Germany

Editor: Nadine Schmieder-Galfe E-Mail: nadine.schmieder-galfe@leibniz-zmt.de

Phone: +49 421 23800 -167 Homepage: <http://www.leibniz-zmt.de>