

ABSTRACT

Developing countries are zones of rapid urbanization, cities are growing in size, in such case, Yogyakarta city is becoming a metropolis. Urbanization intensifies anthropogenic activities that became a source and cause of heavy metal contamination. Cities growth does not only impact the lateral environment, there is also a concern on potential effects of heavy metals contamination in-height or the shallow surface. Henceforward, this study investigated the impact of urbanization on heavy metals contamination in urban soils with emphasis on Lead (Pb), Copper (Cu), Cadmium (Cd), and Zinc (Zn). Through grid method, 168 urban soils samples were collected in Yogyakarta metropolis and analysed for heavy metal content using ICP-AES, then set as basis for the degree of contamination quantification using Geo-accumulation Index (I_{geo}), Pollution Index (PI), and Pollution Load Index (PLI). Empirical Bayesian Kriging (EBK) and Inverse Distance Weighting (IDW) are geostatistical methods used to address the urbanization expansion of Yogyakarta city into borders of Sleman and Bantul Regencies in relation to spatial distribution contamination of heavy metals coupled with pattern-correlation through geospatial analytical tool such as Land use and land cover (LULC), Digitized data features and Enhanced Vegetation Index (EVI). The findings of the study showed that urbanization had a substantial impact on heavy metal contamination in soils, with Pb being the most contaminated (I_{geo} , PI) among all heavy metals, but as combined heavy metals in urban soil (PLI) were classified as moderately contaminated. In relation to lateral environment, EBK and IDW spatial distribution of all heavy metals' contamination confirms Yogyakarta City having more hotspot zones compared to Sleman and Bantul. As Pb being highly contaminated, its effects to physio-mechanical behaviour were investigated to give relevance to shallow surface impacts of heavy metals, the soil of Yogyakarta metropolis Merapi volcanics act as reference soil sample. There are 4 variables subjected to Proctor and Triaxial Test, BG (background soil) as non-contaminated and Pb concentration of soils by 1,000 mg/kg (S1K), 5,000 mg/kg (S5K), and 10,000 mg/kg (S10K). Results demonstrated that physio-mechanical behaviour of contaminated soil variables generally weakens (e.g., lowers strength, lowers cohesion, lowers maximum dry density) as effect of increasing Pb contaminant. Overall, urbanization as driver of heavy metal contamination does not only posed risk in lateral environmental but also further consideration should be given to the role of shallow surface in city rapid development (e.g., Yogyakarta City expansion).

SARI

Negara berkembang adalah zona dari urbanisasi yang cepat, kota-kota tumbuh dalam ukuran, dalam hal ini, kota Yogyakarta menjadi sebuah metropol. Urbanisasi memperkuat aktivitas antropogenik yang menjadi sumber dan penyebab kontaminasi logam berat. Pertumbuhan kota tidak hanya mempengaruhi lingkungan lateral, juga ada kekhawatiran tentang efek potensial dari kontaminasi logam berat pada kedalaman atau permukaan yang dangkal. Oleh karena itu, studi ini menyelidiki dampak urbanisasi pada kontaminasi logam berat di tanah perkotaan dengan penekanan pada Timbal (Pb), Tembaga (Cu), Cadmium (Cd), dan Seng (Zn). Melalui metode grid, 168 sampel tanah perkotaan dikumpulkan di metropol Yogyakarta dan dianalisis untuk kandungan logam berat menggunakan ICP-AES, kemudian ditentukan sebagai dasar untuk kuantifikasi tingkat kontaminasi menggunakan Indeks Geo-akumulasi (Igeo), Indeks Polusi (PI), dan Indeks Beban Polusi (PLI). Empirical Bayesian Kriging (EBK) dan Inverse Distance Weighting (IDW) adalah metode geostatistik yang digunakan untuk mengatasi ekspansi urbanisasi Yogyakarta kota ke batas-batas Regensi Sleman dan Bantul dalam hubungannya dengan distribusi spasial kontaminasi logam berat yang dikaitkan dengan korelasi pola melalui alat analisis geospasial seperti Penggunaan Lahan dan Tutupan Lahan (LULC), Fitur Data Terdigitasi dan Indeks Vegetasi Ditingkatkan (EVI). Temuan dari studi menunjukkan bahwa urbanisasi memiliki dampak besar pada kontaminasi logam berat di tanah, dengan Pb menjadi yang paling terkontaminasi (Igeo, PI) di antara semua logam berat, tetapi sebagai logam berat gabungan dalam tanah perkotaan (PLI) diklasifikasikan sebagai terkontaminasi sedang. Dalam hubungannya dengan lingkungan lateral, distribusi spasial EBK dan IDW dari semua kontaminasi logam berat memastikan Yogyakarta City memiliki lebih banyak zona hotspot dibandingkan Sleman dan Bantul. Sebagai Pb sangat terkontaminasi, efeknya pada perilaku fisiko-mekanik diteliti untuk memberikan relevansi pada dampak permukaan dangkal dari logam berat, tanah metropol Yogyakarta Merapi volkan bertindak sebagai sampel tanah acuan. Menurut lingkungan lateral, distribusi spasial EBK dan IDW dari kontaminasi logam berat seperti Pb, Cu, Cd, dan Zn mengkonfirmasi bahwa Kota Yogyakarta memiliki lebih banyak zona hotspot dibandingkan dengan Regensi Sleman dan Bantul. Karena Pb sangat terkontaminasi, dampaknya terhadap perilaku fisiko-mekanikal dalam tanah diamati untuk memberikan relevansi pada dampak kontaminasi logam berat pada permukaan shallow (dangkal). Terdapat 4 variabel yang menjadi sampel dalam uji Proctor dan



Triaxial Test, yaitu tanah latar belakang (BG) sebagai tanah non-kontaminasi dan konsentrasi Pb pada tanah dengan 1,000 mg/kg (S1K), 5,000 mg/kg (S5K), dan 10,000 mg/kg (S10K). Hasil menunjukkan bahwa perilaku fisiko-mekanikal variabel tanah terkontaminasi umumnya melemah (misalnya, menurunkan kekuatan, menurunkan kohesi, menurunkan massa kering maksimum) seiring dengan peningkatan kontaminasi Pb. Secara keseluruhan, urbanisasi sebagai penyebab kontaminasi logam berat tidak hanya menimbulkan risiko pada lingkungan lateral, tetapi juga perlu memberikan perhatian lebih pada peran permukaan shallow dalam pembangunan kota yang cepat (misalnya, ekspansi Kota Yogyakarta).