

INTISARI

Emisi karbon (EK) merupakan komponen penting dalam perencanaan pembangunan wilayah karena berperan langsung dalam upaya mitigasi perubahan iklim. Salah satu sumber utama EK adalah perubahan penggunaan dan tutupan lahan. Dalam perencanaan pembangunan diperlukan visualisasi data EK dari hasil proyeksi penggunaan lahan. Visualisasi EK hasil proyeksi dilakukan bersama dengan nilai ketidakpastian (Uc) terjadinya emisi karbon serta lokasi dan waktu proyeksi penggunaan lahannya, atau aspek spatio temporal (ST). Visualisasi hasil proyeksi EK dalam bentuk informasi geospasial yang representatif, dan komunikatif menjadi penting dan belum banyak dilakukan, khususnya untuk skala pengelolaan proyek emisi karbon. Oleh karena itu, diperlukan pengembangan pendekatan visualisasi spasial yang mampu mengintegrasikan nilai EK, Uc, dan ST secara efektif dan efisien dan bermanfaat bagi pengguna.

Penelitian ini mevisualisasikan secara terintegrasi data emisi karbon hasil proyeksi perubahan penggunaan lahan. Proyeksi penggunaan lahan dilakukan dengan plugin MOLUSCE pada QGIS. Data awal untuk proyeksi adalah data penggunaan lahan Kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan (KLHK) tahun 2009 dan 2014, yang diproyeksikan dengan interval lima tahunan dengan beberapa faktor pendorong. Data EK dari perubahan penggunaan lahan diagregasikan ke dalam grid heksagonal H3 pada skala atau resolusi untuk Tier 2 pada skala provinsi dan Tier 3 pada skala kawasan hutan di lokasi penelitian, yaitu Provinsi Daerah Istimewa Yogyakarta (DIY). Visualisasi terintegrasi data EK, Uc dan ST menggunakan Kepler.gl dengan beberapa pendekatan aspek kartografi dan digital visual. Kestabilan hasil agregasi diuji melalui uji mass balance dan uji Uji *Modifiable Areal Unit Problem* (MAUP), sedangkan hasil visualisasi dievaluasi melalui uji usabilitas berbasis kuesioner.

Hasil penelitian menunjukkan agregasi data EK dari resolusi awal 30x30 meter ke dalam grid heksagonal H3, yaitu H3-8 s.d. H3-9 untuk Tier 2 dan H3-10 s.d. H3-11 untuk Tier 3, mampu mempertahankan konsistensi nilai emisi. Kestabilan proses agregasi yang dinyatakan dari hasil Uji mass balance dan *Mean Absolute Percentage Error* (MAPE). Hasil uji *mass balance* yang rendah sebesar 0 s.d. 6% dan nilai MAPE 3,4 s.d. 3,8%. Uji MAUP menunjukkan stabilitas pola spasial yang tinggi antar resolusi dan zonasi yang ditunjukkan dari konsistensi peringkat dan korelasi nilai emisi. Hasil uji usabilitas visualisasi EK dengan grid heksagonal H3 dan Kepler.gl, dapat diterima oleh 71 responden yang berhubungan dengan data EK dan informasi geospasial (IG) dari 95 responden yang mengikuti. Responden menyatakan bahwa integrasi nilai EK, Uc, dan ST dalam satu tampilan mendukung analisis dan pengambilan keputusan. Hasil ini menegaskan bahwa pendekatan visualisasi berbasis grid heksagonal pada Tier 2 dan Tier 3 mampu menyajikan informasi emisi karbon yang terintegrasi, efisien dan efektif.

Kata Kunci: Visualisasi, Tier 2, Tier 3, Emisi Karbon, grid heksagonal, Kepler.gl.

ABSTRACT

Carbon emissions (CE) are a crucial component of regional development planning because they play a direct role in climate change mitigation efforts. One of the main sources of CE is land use and land cover change. To support regional development planning, CE visualisation derived from land-use projections is required. Visualisation of projected CE is conducted together with the associated uncertainty (Uc) of carbon emissions and the spatio-temporal (ST) characteristics of the projected land use. Presenting projected CE as representative and communicative geospatial information is therefore important and remains limited studies, particularly at the scale of carbon-emission project management. Consequently, there is a need to develop spatial visualisation approaches capable of integrating CE, Uc, and ST effectively and efficiently for user needs.

This study presents an integrated visualisation of carbon emission data derived from projected land-use change. Land-use projection was performed using the MOLUSCE plugin in QGIS. The baseline data for the projection consist of land-use datasets from the Ministry of Environment and Forestry (KLHK) for 2009 and 2014, projected at five-year intervals using multiple driving factors. Carbon emission data resulting from land-use change were aggregated into H3 hexagonal grids at resolutions corresponding to Tier 2 at the provincial scale and Tier 3 at the forest-area scale within the study area, namely the Special Region of Yogyakarta (DIY) Province. Integrated visualisation of CE, Uc, and ST was implemented using Kepler.gl, applying cartographic and digital visual design approaches. Aggregation stability was evaluated using mass-balance tests and the Modifiable Areal Unit Problem (MAUP), while visualisation outcomes were assessed through a questionnaire-based usability test.

The results indicate that aggregating CE data from the original 30×30 m resolution into H3 hexagonal grids—H3-8 to H3-9 for Tier 2 and H3-10 to H3-11 for Tier 3—maintains emission value consistency. Aggregation stability is demonstrated by low mass-balance deviations (0–6%) and Mean Absolute Percentage Error (MAPE) values ranging from 3.4% to 3.8%. The MAUP test shows high spatial pattern stability across resolutions and zoning schemes, as indicated by consistent rankings and strong correlations of emission values. Usability testing of CE visualisation using H3 hexagonal grids and Kepler.gl was positively received by 71 respondents involved with CE data and geospatial information (GI), out of 95 total participants. Respondents indicated that integrating CE, Uc, and ST within a single view supports analysis and decision-making. These findings confirm that a hexagonal grid-based visualisation approach at Tier 2 and Tier 3 effectively and efficiently delivers integrated carbon-emission information.

Keywords: Visualization, Tier 2, Tier 3, Carbon Emission, Hexagonal Grid, Kepler.gl.