

KAJIAN PERUBAHAN IKLIM DITINJAU DARI PENGARUH TINGKAT GDP PER KAPITA TERHADAP EMISI CO₂ DI ASIA TENGGERA TAHUN 1980 – 2014

Wahyu Nurbandi*, Indinna Sofia Astuti

Prodi Kartografi dan Penginderaan Jauh, Fakultas Geografi, Universitas Gadjah Mada
Bulaksumur, Sleman, Daerah Istimewa Yogyakarta

* Email: wahyunurbandi.ipa130@gmail.com

ABSTRAK

Perubahan iklim sebagai salah satu permasalahan global yang juga menjadi salah satu agenda Sustainable Development Goals (SDGs). Perubahan iklim menjadi isu penting karena memiliki dampak yang cukup signifikan terhadap berbagai aspek kehidupan, seperti perubahan pola musim, peningkatan kerawanan bencana alam, dan sebagainya. Perubahan iklim dipengaruhi oleh berbagai faktor, salah satunya peningkatan emisi CO₂ dari permukaan bumi. Peningkatan emisi CO₂ memicu peningkatan suhu permukaan bumi yang berdampak pada perubahan iklim global. Peningkatan emisi CO₂ sangat dipengaruhi oleh aktivitas manusia di permukaan bumi, seperti kegiatan industri dan transportasi yang juga terkait dengan aspek ekonomi. GDP per kapita sebagai salah satu aspek untuk mengukur pertumbuhan ekonomi yang dapat menunjukkan sektor ekonomi dominan dalam suatu negara. Pertumbuhan ekonomi ditinjau dari GDP per kapita dan perubahan iklim ditinjau dari emisi CO₂ dimungkinkan memiliki keterkaitan. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis hubungan antara GDP per kapita dan emisi CO₂ dengan studi kasus negara-negara di Asia Tenggara secara temporal tahun 1980–2014. Metode yang digunakan dalam penelitian ini berupa visualisasi spasio-temporal dan analisis statistik. Data GDP per kapita dan emisi CO₂ divisualisasikan secara spasio-temporal menggunakan peta dan grafik. Digunakan scatter plot dan analisis regresi untuk mengetahui pengaruh GDP per kapita terhadap emisi CO₂. Uji korelasi statistik Spearman's correlation digunakan untuk mengetahui kekuatan korelasi GDP per kapita dan emisi CO₂. Hasil penelitian menunjukkan adanya pengaruh yang kuat dengan nilai R² sebesar 0,5319 antara GDP per kapita terhadap emisi CO₂. Uji korelasi menunjukkan adanya nilai korelasi yang kuat dan bersifat positif sebesar 0,729. Dapat disimpulkan bahwa terhadap pengaruh dan korelasi kuat antara GDP per kapita dan emisi CO₂, sehingga peningkatan GDP per kapita menyebabkan peningkatan nilai emisi CO₂.

Kata kunci: GDP per kapita, emisi CO₂, analisis spasio-temporal

ABSTRACT

Climate change as one of the global issues that also became one of the agenda of Sustainable Development Goals (SDGs). It is an important issue because it has a significant impact on various aspects of life, such as changing season patterns, increasing the vulnerability of natural disasters, etc. It is influenced by various factors, such as increases CO₂ emissions. Previous studies said that CO₂ emission relate with economic growth. GDP per capita can be used for economic growth measuring. This study aims to analyze the relationship between GDP per capita and CO₂ emissions in ASEAN countries from 1980 to 2014. The methods used in this research are spatiotemporal visualization and statistical analysis. GDP per capita and CO₂ emission data are visualized spatiotemporally using maps and graphs. Used scatter plots and regression analysis to determine the effect of per capita GDP on CO₂ emissions. Spearman's correlation statistical correlation test is used to determine correlation power to GDP per capita and CO₂ emissions. The results showed a strong influence with the R₂ is 0.5319 between GDP per capita to CO₂ emissions. Correlation test show a strong correlation and positive value of 0.729. It can be concluded that on the influence and strong correlation between GDP per capita and CO₂ emissions.

Keywords: GDP per capita, CO₂ emissions, spatio-temporal analysis

1. PENDAHULUAN

Isu perubahan iklim menjadi agenda nomor tiga belas dalam *Sustainable Development Goals* (SDGs) yaitu “*take urgent action to combat climate change and its impact*”. Perubahan iklim menjadi salah satu permasalahan penting karena memiliki dampak yang cukup signifikan terhadap berbagai kehidupan, seperti perubahan iklim memicu penurunan hasil pertanian, kenaikan muka air laut, perubahan pola musim, dan sebagainya yang akan memberikan dampak yang lebih buruk dimasa mendatang apabila tidak segera diatasi. Negara-negara di dunia telah berupaya untuk mengurangi dampak perubahan iklim dengan berbagai kegiatan yang mampu menekan laju perubahan iklim yang telah terjadi saat ini. Upaya yang telah dilakukan salah satunya dengan diadakannya konferensi yang menghasilkan kesepakatan berupa Persetujuan Paris di COP21 Paris pada tanggal 12 Desember 2015. Isi kesepakatan tersebut yaitu semua negara setuju untuk bekerja membatasi kenaikan suhu global di bawah 2 derajat celsius. Perjanjian tersebut didasarkan pada beberapa fakta penyebab perubahan iklim, diantaranya peningkatan emisi karbon dioksida (CO₂) sebesar 50% sejak tahun 1990 hingga saat ini, emisi tumbuh lebih cepat antara tahun 2000 dan 2010 (SDG, 2018).

Emisi CO₂ menjadi salah satu aspek yang memiliki peran penting dalam kajian perubahan iklim. Emisi CO₂ telah mengalami peningkatan dengan sangat signifikan di dekade terakhir, semenjak dimulainya revolusi industri negara-negara belahan bumi barat. Aktivitas manusia secara umum menggunakan bahan bakar minyak bumi sebagai sumber energi dalam kegiatan perindustrian, transportasi, dan berbagai kegiatan yang berkaitan dengan peningkatan pertumbuhan ekonomi (Alam dkk., 2014). Aspek polusi lingkungan, konsumsi energi, dan pertumbuhan ekonomi menjadi faktor-faktor yang dipertimbangkan dalam kajian perubahan iklim. Menurut hipotesis dari *Environmental Kuznets Curve* (EKC), peningkatan hasil yaitu emisi CO₂ meningkat sampai ambang batas tertentu tercapai setelah emisi tersebut mulai menurun kembali. Kajian emisi CO₂ memiliki peran penting

dalam penentuan kebijakan pengelolaan lingkungan dan pembangunan berkelanjutan. Pertumbuhan ekonomi berhubungan dekat dengan konsumsi energi sebab konsumsi energi yang lebih tinggi mampu meningkatkan pertumbuhan ekonomi (Omri, 2014).

Hubungan pertumbuhan ekonomi dengan emisi CO₂ menjadi penting untuk kajian perubahan iklim. Pertumbuhan ekonomi negara-negara di dunia sebagian besar disumbang dari sektor industri, yang mana sektor industri merupakan kegiatan yang memerlukan konsumsi energi dengan jumlah cukup tinggi. Konsumsi energi untuk kegiatan industri sebagian besar memanfaatkan minyak bumi sebagai bahan bakarnya yang menghasilkan emisi CO₂ yang tinggi pula. Telah banyak kajian keterkaitan pertumbuhan ekonomi dengan peningkatan CO₂ yang sebagian besar dilakukan di negara-negara maju yang terlebih dahulu mengalami perkembangan pesat di sektor industri.

Mengkaji terkait keterkaitan antara konsumsi energi, pertumbuhan ekonomi, dan emisi CO₂ di negara-negara Timur Tengah dan Afrika Utara pada rentang tahun 1981 – 2005 (Arouri dkk., 2012). Hasil penelitian menunjukkan bahwa tingkat konsumsi energi memiliki hubungan positif terhadap emisi CO₂, sementara pertumbuhan ekonomi yang dinyatakan dengan nilai GDP memiliki hubungan kuadrat dengan tingkat emisi CO₂ pada tingkat regional. Analisis hubungan antara variabel dilakukan dengan pendekatan persamaan natural logarithm. Omri (2014) Mengkaji hal yang serupa di wilayah yang sama dengan data tahun 1990–2011. Penelitian dilakukan dengan pendekatan pemodelan ekonometrik. Keterkaitan antara emisi CO₂, konsumsi energi, dan pertumbuhan ekonomi dilakukan dengan fungsi produksi Cobb-Douglas. Hasil penelitian menyimpulkan bahwa konsumsi energi meningkatkan pertumbuhan ekonomi dengan hubungan sebab akibat secara dua arah. Energy mempengaruhi pertumbuhan GDP, pertumbuhan ekonomi yang tinggi berkaitan dengan permintaan energi yang tinggi dan sebaliknya. Konsumsi energi an emisi CO₂ memiliki hubungan sebab akibat satu arah. Hal ini ditunjukkan dengan adanya

peningkatan jumlah emisi CO₂ akibat penggunaan energi untuk kegiatan ekonomi yang berdampak pada degradasi lingkungan.

Asia Tenggara sebagai kawasan regional yang dibentuk sejak tahun 1967 memiliki anggota yang sebagian besar merupakan negara berkembang. Di awal ASEAN terbentuk, sektor agraris merupakan sektor utama yang berkembang di sebagian besar negara-negara ASEAN, akan tetapi sektor agraris mulai berkurang dan sektor industri mulai berkembang lebih pesat. Perkembangan sektor industri kemungkinan memicu pertumbuhan ekonomi yang positif, namun berdampak pada peningkatan emisi karbon. Pertumbuhan ekonomi dapat diukur salah satunya dengan aspek GDP per kapita. Sementara perkembangan sektor industri dapat diukur dengan aspek pertumbuhan emisi CO₂. Penelitian ini mengkaji keterkaitan tingkat GDP per kapita dan emisi CO₂ di negara-negara ASEAN secara spasio-temporal tahun 1980–2014. Secara umum tahapan penelitian ini berupa visualisasi data secara spasio-temporal menggunakan peta statistik. Selanjutnya dilakukan analisis statistik untuk mengetahui hubungan antara emisi CO₂ dan tingkat emisi karbon.

2. METODE PENELITIAN

a. Perolehan Data

Data pertumbuhan GDP per kapita dan emisi CO₂ diperoleh dari World Bank Data dengan rentang tahun 1980–2014 (GADM, 2018). Tabel 1. menunjukkan nilai GDP per kapita negara-negara ASEAN tahun 1980–2014. Tampak bahwa tidak semua negara memiliki data lengkap terkait GDP per kapita. Negara Cambodia tidak memiliki data GDP per kapita untuk tahun 1980–1992, Laos untuk tahun 1980–1983, Myanmar untuk tahun 1980 – 1999, dan Vietnam untuk tahun 1980–1984. Tabel 2. berisi terkait data fluktuasi emisi CO₂ yang menunjukkan bahwa data tersedia lengkap di seluruh negara-negara ASEAN.

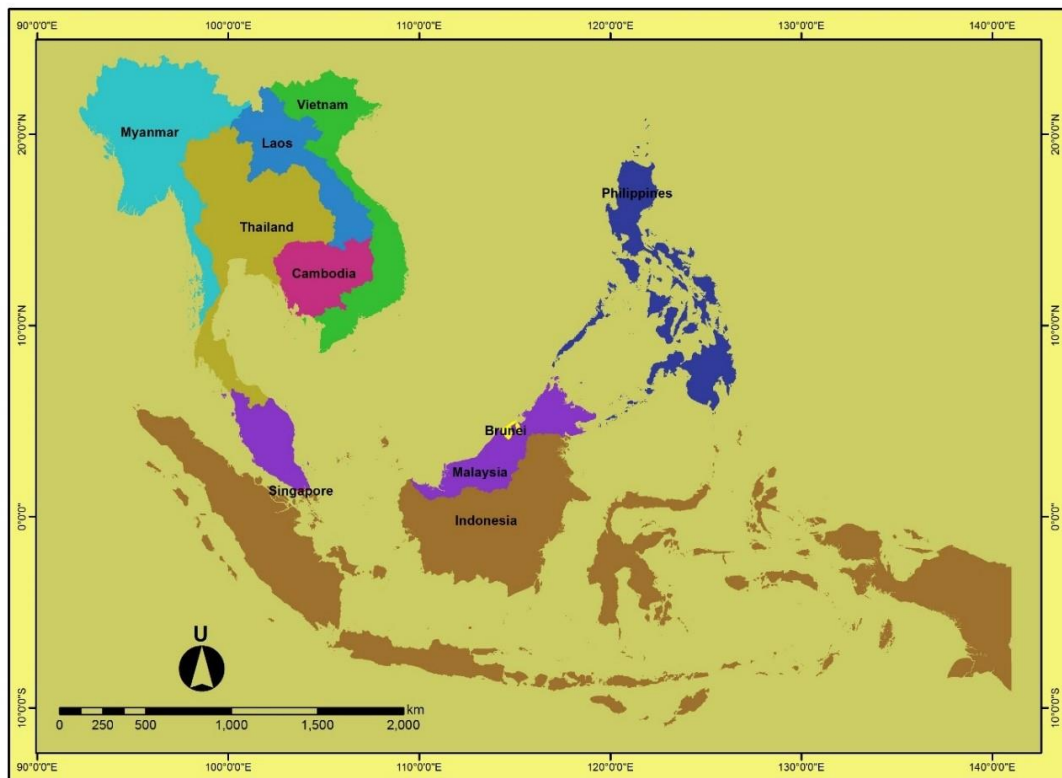
Data spasial berupa peta kawasan regional ASEAN diperoleh dari (Andrienko dkk. 2003) dengan sepuluh negara kajian yaitu Brunei Darussalam, Cambodia, Indonesia, Laos, Malaysia, Myanmar, Philippines, Singapore, Thailand, dan Vietnam yang ditunjukkan oleh Gambar 1. Data peta digunakan sebagai basis data grafis untuk menunjukkan sebaran spasial, sementara data tabulasi GDP per kapita dan emisi CO₂ sebagai data atribut peta.

Tabel 1. Data GDP per kapita negara-negara ASEAN tahun 1980 – 2014
(Current US Dollar)

Tahun	Negara									
	Brunei Darussalam	Cambodia	Indonesia	Laos	Malaysia	Myanmar	Philippines	Singapore	Thailand	Vietnam
1980	25412.995		491.438		1774.736		684.654	4926.958	682.773	
1981	21821.795		566.425		1769.127		731.725	5595.240	720.892	
1982	20687.400		583.526		1852.331		741.787	6075.595	742.675	
1983	18123.860		512.845		2047.883		645.460	6629.943	797.885	
1984	17332.975		525.229	489.949	2234.356		594.026	7223.398	817.827	
1985	15694.540		516.868	641.739	2000.146		565.763	6995.101	747.494	239.429
1986	10211.596		474.781	468.324	1728.544		535.236	6793.545	813.200	437.130
1987	11591.786		442.148	278.419	1947.442		579.201	7531.250	936.459	593.654
1988	11006.871		481.713	148.984	2071.455		643.815	8902.412	1123.012	401.875
1989	11869.987		529.932	172.541	2215.365		704.982	10380.280	1294.932	97.158
1990	13604.157		585.001	203.256	2440.592		715.311	11864.280	1508.286	98.032
1991	13901.722		631.700	234.719	2652.144		715.142	14505.020	1715.638	142.966
1992	15270.486		681.843	250.492	3111.977		814.075	16144.008	1926.988	144.149
1993	14572.109	254.179	827.782	287.188	3431.370		815.722	18302.430	2208.345	189.261
1994	14117.392	270.609	912.072	325.629	3726.341		939.156	21578.461	2490.312	229.955
1995	15929.164	323.010	1026.270	363.472	4328.000		1061.348	24936.831	2845.410	288.020
1996	16789.037	319.363	1137.333	377.971	4797.291		1159.589	26263.016	3042.904	337.050
1997	16656.090	304.838	1063.712	345.497	4637.320		1127.004	26386.457	2467.493	361.254
1998	12690.689	269.055	463.969	248.541	3263.521		966.708	21824.036	1845.466	360.601
1999	14097.932	295.974	671.107	277.495	3493.465		1087.237	21795.697	2032.992	374.476
2000	18008.448	300.685	780.092	324.845	4045.170	193.187	1038.911	23792.607	2007.565	433.334
2001	16468.129	321.226	747.982	326.641	3915.115	138.925	957.281	21577.078	1893.145	448.882
2002	16846.022	339.068	899.556	319.827	4167.364	143.776	1000.068	22016.833	2096.055	477.106
2003	18555.566	362.421	1064.509	362.625	4463.676	219.782	1010.553	23573.628	2358.931	530.862
2004	21896.605	408.611	1148.569	417.752	4955.478	219.816	1079.037	27405.271	2659.839	606.904
2005	26102.133	474.224	1260.929	475.416	5593.823	247.243	1194.697	29869.854	2893.651	699.500
2006	30980.967	539.879	1586.205	590.301	6222.983	296.901	1391.772	33579.859	3368.953	796.672
2007	32672.367	631.676	1855.094	709.767	7269.171	410.450	1672.685	39223.582	3972.206	919.209
2008	37951.281	745.788	2160.528	899.495	8513.630	643.951	1919.466	39721.048	4378.687	1164.613
2009	27965.475	738.233	2254.446	948.128	7326.744	741.078	1825.342	38577.558	4212.055	1232.370
2010	35268.101	785.693	3113.481	1141.127	9071.357	987.737	2129.499	46569.680	5075.302	1333.584
2011	47017.027	882.490	3634.277	1304.384	10405.121	1186.424	2352.518	53166.676	5491.160	1542.670
2012	47651.259	950.024	3687.954	1588.636	10779.496	1171.508	2581.819	54431.162	5859.916	1754.548
2013	44597.280	1028.420	3620.664	1838.795	10882.278	1168.804	2760.289	56029.189	6171.262	1907.564
2014	41590.865	1098.687	3491.596	2017.563	11183.962	1262.894	2842.938	56336.072	5941.841	2052.319

Tabel 2. Data emisi CO₂ negara-negara ASEAN tahun 1980 – 2014 (metric tons per capita)

Tahun	Negara									
	Brunei Darussalam	Cambodia	Indonesia	Laos	Malaysia	Myanmar	Philippines	Singapore	Thailand	Vietnam
1980	35.488	0.043	0.643	0.057	2.029	0.166	0.781	13.022	0.847	0.313
1981	7.349	0.045	0.663	0.045	2.181	0.165	0.712	10.601	0.787	0.324
1982	10.158	0.049	0.682	0.046	2.113	0.160	0.699	11.242	0.769	0.330
1983	12.757	0.051	0.664	0.051	2.562	0.162	0.688	13.054	0.846	0.341
1984	8.788	0.055	0.694	0.051	2.284	0.180	0.586	12.225	0.900	0.304
1985	11.564	0.054	0.735	0.055	2.323	0.180	0.516	12.214	0.935	0.360
1986	9.954	0.054	0.723	0.055	2.492	0.179	0.523	12.815	0.938	0.383
1987	13.966	0.053	0.718	0.054	2.467	0.129	0.570	11.749	1.055	0.421
1988	23.386	0.053	0.755	0.052	2.509	0.105	0.641	12.686	1.220	0.366
1989	25.237	0.052	0.735	0.057	2.845	0.112	0.648	14.292	1.414	0.270
1990	23.933	0.141	0.824	0.050	3.137	0.105	0.674	14.602	1.605	0.324
1991	19.941	0.141	0.974	0.054	3.702	0.101	0.692	14.440	1.743	0.319
1992	19.033	0.140	1.079	0.057	3.960	0.117	0.749	14.989	1.898	0.314
1993	17.635	0.139	1.145	0.056	4.705	0.127	0.742	15.448	2.141	0.330
1994	16.212	0.143	1.142	0.058	4.704	0.146	0.803	18.041	2.363	0.370
1995	16.115	0.146	1.142	0.072	5.910	0.161	0.869	11.966	2.709	0.404
1996	15.982	0.147	1.267	0.096	5.964	0.166	0.870	13.539	2.997	0.474
1997	16.217	0.136	1.374	0.120	5.788	0.169	0.974	15.392	3.055	0.607
1998	16.507	0.168	1.041	0.133	5.164	0.180	0.927	12.380	2.668	0.630
1999	11.980	0.160	1.160	0.177	4.764	0.197	0.906	12.648	2.827	0.623
2000	14.140	0.163	1.245	0.176	5.423	0.219	0.940	12.167	2.879	0.691
2001	13.251	0.182	1.375	0.161	5.723	0.187	0.892	11.972	3.062	0.778
2002	12.623	0.175	1.410	0.209	5.527	0.195	0.877	11.310	3.251	0.890
2003	12.992	0.185	1.436	0.197	6.410	0.207	0.860	7.566	3.479	0.979
2004	13.902	0.187	1.510	0.246	6.508	0.259	0.875	6.834	3.741	1.112
2005	13.708	0.209	1.508	0.244	6.800	0.239	0.867	7.117	3.782	1.191
2006	13.133	0.223	1.502	0.265	6.415	0.263	0.771	6.998	3.829	1.233
2007	22.450	0.253	1.612	0.153	6.941	0.262	0.808	4.343	3.814	1.245
2008	24.047	0.281	1.764	0.156	7.526	0.198	0.869	7.467	3.794	1.386
2009	20.486	0.330	1.865	0.204	7.204	0.205	0.841	11.214	4.001	1.495
2010	21.106	0.350	1.768	0.262	7.772	0.250	0.905	10.960	4.195	1.642
2011	24.607	0.358	2.457	0.256	7.697	0.283	0.897	8.724	4.121	1.732
2012	24.181	0.369	2.560	0.265	7.498	0.217	0.942	6.847	4.372	1.601
2013	19.234	0.373	1.945	0.243	7.962	0.250	0.996	10.312	4.404	1.640
2014	22.125	0.438	1.819	0.297	8.033	0.417	1.055	10.306	4.622	1.840



Gambar 1. Peta kawasan regional Asia Tenggara

b. Pengolahan Data

Data temporal GDP per kapita dan emisi CO₂ divisualisasikan menggunakan teknik visualisasi spasio-temporal yang diintegrasikan dengan basis data spasial negara-negara ASEAN. Tipe temporal data tersebut tergolong *changes of thematic properties*, yaitu data merupakan perubahan nilai atribut dari suatu objek tertentu (Lehman, 2005). Hal ini dicerminkan dengan adanya kondisi geometris wilayah yang digunakan bersifat statis, yaitu menggunakan satu data dan wilayah yang sama untuk visualisasi tahun 1980–2014. Sementara data tematik yang berupa GDP per kapita dan emisi CO₂ merupakan data dinamis yang berubah setiap tahunnya. Teknik visualisasi spasio-temporal yang digunakan yaitu menggunakan animasi yang berfungsi untuk menggambarkan dinamika pertumbuhan GDP per kapita dan emisi CO₂ yang memanfaatkan waktu sebagai dimensi ketiga dari tahun 1980–2014. Visualisasi dilakukan dengan menggunakan rentang waktu satu tahun.

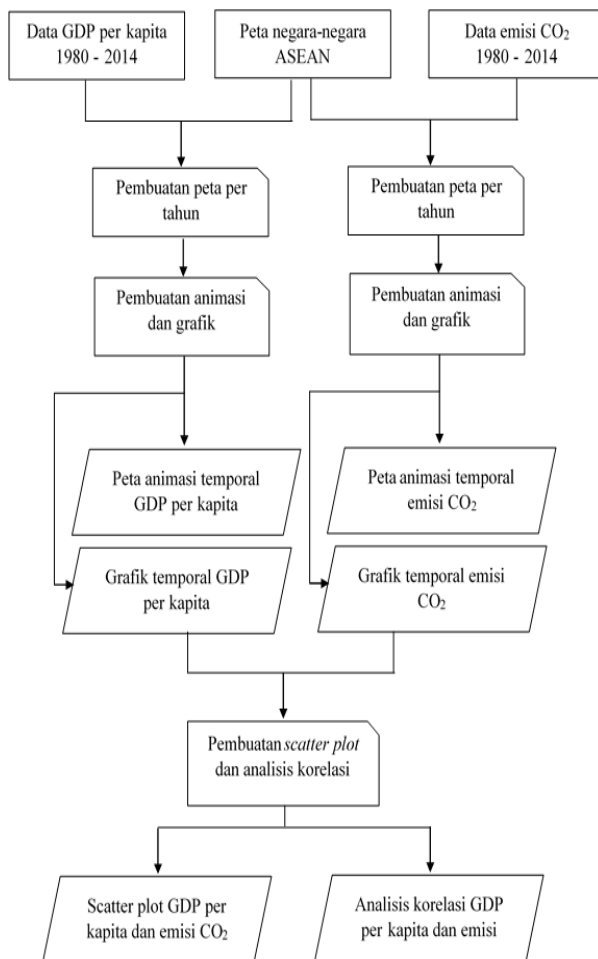
Data temporal GDP per kapita dan emisi CO₂ yang berupa tabulasi dilakukan pula visualisasi menggunakan grafik fluktuatif. Visualisasi ini digunakan untuk membantu menganalisis dinamika perubahan GDP per kapita dan emisi CO₂ setiap tahunnya menggunakan fluktuasi garis. Kedua data tersebut juga divisualisasikan menggunakan *scatter plot* untuk mengetahui pola persebaran dan hubungan GDP per kapita dan CO₂. *Scatter plot* dibuat secara serentak pada keseluruhan data tahun 1980–2014, sehingga menghasilkan satu jenis *scatter plot*. Dilakukan uji korelasi menggunakan teknik *Spearman ranks correlation* (r_s) untuk mengetahui tingkat korelasi antara GDP per kapita dengan CO₂. Teknik menggunakan asumsi data yang digunakan tidak diketahui distribusinya, atau data non-parametrik. Nilai r_s menunjukkan besar dan arah korelasi dari dua variabel yang dihitung dengan persamaan (1). Teknik ini dapat diterapkan untuk data yang bersifat diskrit maupun kontinu dengan asumsi pemeringkatan (Kendall dan Stuart, 1973). Dilakukan uji signifikan pada hasil uji korelasi

menggunakan *Student's t distribution* (t) dengan persamaan (2) (Cederborg dan Snobohm, 2016). Diagram alir dari metode yang digunakan dalam penelitian ini ditunjukkan pada Gambar 2.

$$r_s = 1 - \frac{6 \sum d^2}{n(n^2-1)} \tag{1}$$

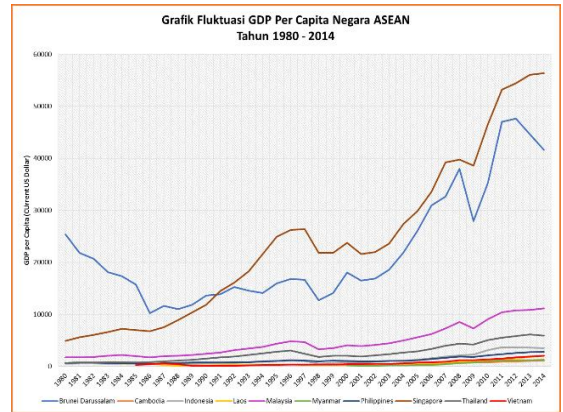
$$t = \rho \sqrt{\frac{n-2}{1-\rho^2}} \tag{2}$$

dimana r_s : korelasi, n : jumlah pemeringkatan berpasangan, d : perbedaan antar jumlah pemeringkatan berpasangan, dan t : nilai signifikansi.



Gambar 2. Diagram alir penelitian.

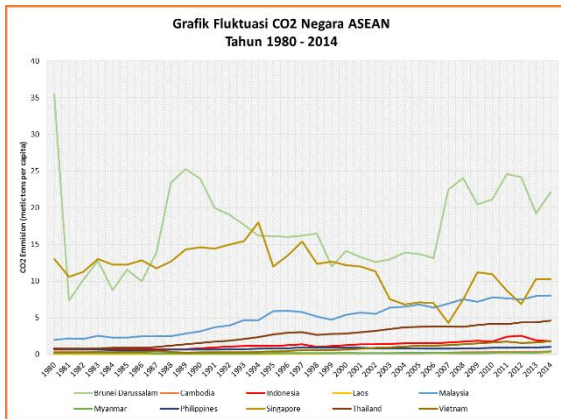
3. HASIL DAN PEMBAHASAN



Gambar 3. Grafik pertumbuhan GDP per kapita tahun 1980–2014.

Hasil visualisasi data pertumbuhan ekonomi berupa GDP per kapita di negara-negara ASEAN berupa grafik dan peta animasi temporal. Gambar 3 merupakan grafik pertumbuhan GDP per kapita di sepuluh negara ASEAN dari tahun 1980–2014. Tampak bahwa negara Singapore dan Brunei merupakan negara dengan angka GDP per kapita tertinggi di ASEAN sejak tahun 1980 hingga tahun 2014. Sementara Laos dan Myanmar merupakan negara dengan posisi GDP per kapita terendah di ASEAN dari tahun 1980–2014. Pada Gambar 3 tampak bahwa fluktuasi GDP per kapita di seluruh negara ASEAN memiliki pola pertumbuhan yang sama. Terdapat suatu periode dengan pola terjadi peningkatan GDP per kapita di sebagian besar negara ASEAN, seperti tahun 1995–1996 dan 2007–2008 yang ditunjukkan dengan bentuk grafik yang meningkat signifikan dari tahun sebelumnya. Terdapat pula suatu periode dengan penurunan GDP per kapita di sebagian besar negara ASEAN, yaitu 1997–1998 dan 2008–2009 yang ditunjukkan dengan bentuk grafik menurun secara signifikan dari tahun sebelumnya. Gambar 3 menunjukkan adanya peningkatan nilai GDP dari tahun 1980–2014, yang mana di tahun 1980 sebagian besar grafik berada di angka mendekati nilai 0 yang menandakan nilai GDP per kapita sangat rendah dibawah US Dollar 10.000, sementara di tahun 2014 seluruh negara memiliki nilai GDP per kapita di grafik yang semakin menjauhi nilai 0, artinya seluruh negara memiliki GDP per kapita cukup tinggi diatas US Dollar 10000. Sebagian besar negara-negara ASEAN mulai mengalami peningkatan GDP per kapita secara signifikan semenjak

tahun 1998, yang mana adanya pola pertumbuhan GDP per kapita yang semakin meningkat hingga tahun 2014 yang tervisualisasi dengan bentuk grafik yang mengalami peningkatan setiap tahunnya. Semenjak tahun 1998–2014, penurunan GDP per kapita hanya terjadi di tahun tertentu. Tahun 2014, negara Singapore merupakan negara dengan pendapatan GDP per kapita tertinggi se-ASEAN, sementara Laos merupakan negara dengan nilai GDP per kapita terendah.

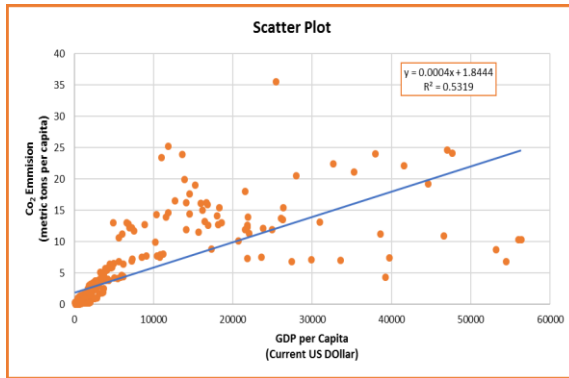


Gambar 4. Grafik emisi CO₂ tahun 1980–2014.

Fluktuasi nilai emisi CO₂ ditunjukkan oleh Gambar 4. Brunei dan Singapore merupakan negara dengan tingkat emisi tertinggi di setiap tahunnya, sementara negara dengan emisi CO₂ terendah yaitu Myanmar dan Laos. Pola peningkatan nilai emisi CO₂ secara umum memiliki pola yang sama di keseluruhan negara ASEAN. Pola peningkatan CO₂ terjadi hampir sepanjang tahun, akan tetapi nilai emisi mulai meningkat secara drastis semenjak tahun 1989. Terdapat periode penurunan emisi secara signifikan yaitu tahun 1997–1998 yang ditandai dengan adanya bentuk penurunan grafik secara signifikan. Mengacu Gambar 4 dan Gambar 5 terdapat kemiripan pola fluktuasi antara nilai GDP per kapita dengan emisi CO₂. Tahun 1997–1998 merupakan tahun terjadinya penurunan GDP per kapita di hampir seluruh negara ASEAN. Di tahun itu pula terjadi penurunan yang cukup drastis terkait emisi CO₂. Tahun 1995–1996 dan 2007–2008 merupakan tahun dengan peningkatan GDP per kapita yang cukup dratis, di tahun itu pula terjadi peningkatan nilai emisi CO₂ yang cukup drastis pula. Pola perubahan GDP per kapita secara umum selalu mengalami peningkatan dimulai tahun 1980 hingga 2014. Hal yang sama terjadi dengan nilai emisi CO₂ yang juga

mengalami peningkatan semenjak tahun 1980–2014. Singapore dan Brunei merupakan negara dengan nilai GDP per kapita terbesar sekaligus nilai CO₂ terbesar. Sebaliknya, Laos dan Myanmar menjadi negara dengan nilai GDP per kapita terendah serta nilai emisi CO₂ terendah. Kecenderungan pola bentuk yang sama fluktuasi nilai GDP per kapita dan emisi CO₂, yang mana pada periode peningkatan nilai GDP per kapita selalu diiringi dengan peningkatan nilai emisi CO₂, sebaliknya penurunan GDP per kapita selalu diiringi penurunan emisi CO₂.

Visualisasi kedua dikerjakan dengan menggunakan peta animasi. Peta yang dibuat merupakan gabungan peta-peta GDP per kapita per tahun dan peta tingkat emisi CO₂ negara-negara ASEAN yang disusun berurutan agar terlihat perubahan yang terjadi pada animasi. Awalnya peta dibuat satu per satu kemudian digabungkan membentuk GIF. Peta GDP per kapita dapat dilihat pada tautan <https://goo.gl/9BGDrT> dan peta emisi CO₂ pada tautan <https://goo.gl/fpbPWD>. Peta animasi yang dibuat tidak menunjukkan tingkat fluktuasi dari data GDP maupun emisi CO₂ secara langsung dan detail dalam bentuk angka seperti pada grafik. Peta lebih menampilkan data secara interval kemudian terlihat peningkatan kelas yang terjadi dari GDP per kapita dan emisi CO₂ yang dihasilkan oleh setiap negara di ASEAN. Dari perubahan simbol warna per tahunnya yang berubah menjadi semakin gelap pada hampir seluruh negara membuat pembaca peta mengerti bahwa nilai GDP per kapita negara-negara ASEAN meningkat begitu pula dengan emisi CO₂. Peta animasi mampu menggambarkan pola perubahan yang terjadi pada setiap negara apakah pernah mengalami penurunan pada nilai datanya atau pun tidak. Meskipun nilai data tidak ditampilkan secara detail dan tidak terlihat fluktuasi yang terjadi, namun perubahan dan persebaran spasial nilai-nilai tersebut menjadi lebih jelas.



Gambar 5. Scatter plot GDP per kapita dan emisi CO₂.

Peta animasi yang dibuat belum dapat menampilkan hubungan antara tingkat GDP per kapita dengan emisi CO₂. Hubungan ini dapat terlihat dari dibuatnya *scatter plot* sehingga keceratan dan posisi hubungan GDP per kapita dan emisi CO₂ disajikan langsung persebarannya dan hubungannya dalam satu grafik. Gambar 5 menunjukkan bahwa persebaran data cukup luas namun membentuk pola yang konsisten dan terkumpul di beberapa titik. Garis linier yang menghadap ke kanan menunjukkan bahwa GDP per kapita dan emisi CO₂ memiliki hubungan yang positif dimana jika GDP per kapita mengalami penurunan maka emisi CO₂ yang dihasilkan juga akan menurun, begitu pula sebaliknya. Gambar 5 menunjukkan pula nilai koefisien determinasi yang dibentuk oleh GDP per kapita dan emisi CO₂ oleh negara-negara ASEAN adalah sebesar 0,5319 (53,19%). Nilai ini menunjukkan bahwa variabel yang dibuat dependen yakni emisi CO₂ dapat dijelaskan oleh data GDP per kapita sebesar 53,19% sedangkan 46,81% sisanya dipengaruhi oleh faktor lain diluar GDP per kapita.

Tabel 3. Nilai korelasi GDP per capita dan emisi CO₂

	GDP per kapita	Emisi CO ₂
GDP per kapita	1	0,7293
Emisi CO ₂	0,7293	1

Dari nilai koefisien determinasi (R^2) sebesar 0,5319 dan koefisien korelasi yang dihasilkan adalah 0,7293 seperti yang ditunjukkan oleh Tabel 3. Koefisien korelasi ini menunjukkan

hubungan nilai GDP dengan emisi CO₂ adalah positif cukup kuat. Hubungan positif ini menunjukkan bahwa semakin besar nilai GDP per kapita maka emisi CO₂ juga akan meningkat, sehingga keduanya berbanding lurus. Nilai korelasi yang dihasilkan cukup kuat, sehingga terdapat hubungan yang cukup korelatif antara GDP per kapita dengan emisi CO₂.

GDP per kapita dan emisi CO₂ memiliki hubungan yang searah, artinya variabel GDP per kapita mempengaruhi CO₂ sedangkan emisi CO₂ tidak mempengaruhi GDP per kapita. Peningkatan GDP per kapita secara umum sejalan dengan pertumbuhan ekonomi, yang mampu mencerminkan sektor yang berpengaruh terhadap ekonomi suatu negara. Sebagian besar negara-negara di dunia, termasuk ASEAN memiliki pendapatan terbesar dari sektor industri. Peningkatan kegiatan industri di suatu negara memicu penggunaan bahan bakar serta menghasilkan limbah emisi yang semakin meningkat pula. Hal ini mampu menjelaskan bahwa emisi CO₂ akan meningkat seiring dengan peningkatan GDP per kapita. Beberapa penelitian sebelumnya juga memiliki kesimpulan yang sama dengan penelitian ini bahwa peningkatan pendapatan ekonomi sejalan dengan peningkatan emisi CO₂.

Selain peningkatan sektor industri, emisi CO₂ dapat pula dipengaruhi oleh peningkatan penggunaan transportasi berbahan bakar minyak. Pada kajian ini, identifikasi pengaruh penggunaan transportasi dengan emisi CO₂ tidak dilakukan karena keterbatasan data. Berdasarkan hasil identifikasi yang menjelaskan bahwa peningkatan sektor industri berpengaruh terhadap emisi CO₂, maka upaya yang dapat dilakukan untuk mengurangi emisi CO₂ yaitu upaya menciptakan industri yang ramah lingkungan berupa efisiensi mesin industri yang rendah emisi CO₂ dengan mempertahankan efektivitas produksi.

4. KESIMPULAN

Singapura dan Brunei merupakan wilayah dengan nilai GDP per kapita tertinggi di ASEAN sejak 1980-2014, sedangkan Laos dan Myanmar adalah yang terendah. Fakta tersebut juga sama terjadi pada tingkat emisi karbon yang ada dengan tren fluktuasi yang sama. Visualisasi data dengan grafik menunjukkan hal tersebut. Peta berupa animasi menampilkan

perubahan dari tahun ke tahun yang terjadi pada kedua data secara spasial yakni GDP per kapita dan emisi CO₂ mengalami peningkatan sejak tahun 1980 hingga 2014 dengan peningkatan kelas per tahunnya. Hasil analisis *scatter plot* menunjukkan adanya hubungan antara GDP per kapita dan emisi CO₂ dengan koefisien determinasi sebesar 0,5319 dan koefisien korelasi 0,7293. Artinya peningkatan GDP per kapita mengakibatkan peningkatan emisi CO₂, akan tetapi tidak berlaku sebaliknya karena hubungan tersebut bersifat searah.

UCAPAN TERIMA KASIH

Ucapan terima kasih ditujukan kepada Departemen Sains Informasi Geografi, Fakultas Geografi, dan Universitas Gadjah Mada yang selalu memberikan dukungan untuk terus berkarya serta *World Bank* yang telah menyediakan data untuk penelitian ini.

DAFTAR PUSTAKA

Sustainable Development Goals: 17 Goals to Transform Our World (2018).
www.un.org/sustainabledevelopment

- Alam. 2014. *IOSR Journal of Economics and Finance* 5. e-ISSN: 2321- 5933.
- Omri. 2014. *Energy Economic* 40, p. 657–664.
<http://dx.doi.org/10.1016/j.eneco.2013.09.003>
- Arouri, M.E.H.2012. *Energy Policy* 45, p. 342–349.
<http://dx.doi.org/10.1016/j.enpol.2012.02.042>
- World Bank Open Data. 2018. *Databse of Global Administrative Areas*, www.gadm.org
- Andrienko. 2003. *Journal of Languages and Computing* 14, p. 503–541.
- Lehman. 2005. *JMP For Basic Univariate and Multivariate Statistics: A Step-by-step Guide* , p. 123., NC: SAS Press, ISBN 1-59047-576-3.
- Kendall, M.G., dan Stuart A. 1973. *The Advanced Theory of Statistics. Volume 2: Inference and Relationship*. Griffin Publishing. ISBN 0-85264-215-6.
- Cederborg, J., dan Snobohm S.2016. Is there a relationship between economic growth and carbon dioxide emissions?. *Bachelor thesis*. Sodertorns University.