

## Pengaruh Perubahan Tutupan Lahan Terhadap Emisi GRK pada Wilayah Cepat Tumbuh di Kota Semarang

Dimas Danar Dewa<sup>a</sup>, Anang Wahyu Sejati<sup>a\*</sup>

<sup>a</sup>Departemen Perencanaan Wilayah dan Kota, Universitas Diponegoro, Semarang, 50275, Indonesia

\* Korespondensi Penulis, E-mail: [anang@live.undip.ac.id](mailto:anang@live.undip.ac.id)



Dikirim: 1 Feb 2019;  
Diterima: 15 Feb 2019;  
Diterbitkan: 28 Feb 2019.

**Abstrak.** Artikel ini bertujuan menyampaikan hasil studi yang berupa perhitungan emisi gas rumah kaca (GRK) dari faktor perubahan tutupan lahan. Metode yang digunakan adalah *spatio-temporal* dengan penginderaan jauh yang didukung teknik klasifikasi *Support Vector Machine* dari *Deztsaka Tools*. Hasil yang diperoleh adalah perubahan tutupan lahan paling signifikan terjadi pada kelas tutupan lahan hutan dimana mengalami penurunan sebesar 1515,29 Ha (21%). Cadangan karbon pada kawasan cepat tumbuh mengalami penurunan sebesar 90.741,06 ton (68,58%) dan sebesar 22% kawasan melepaskan emisi GRK dengan jumlah lebih dari 1000 ton. Fenomena ini membutuhkan perhatian serius karena perubahan tutupan lahan sangat signifikan berpengaruh, sehingga upaya pengendalian melalui kebijakan penataan ruang mutlak diperlukan.

**Kata kunci:** Emisi Gas Rumah Kaca; Penginderaan Jauh; *Support Vector Machines*.

---

### Effects of Land Cover Changes on GHG Emissions in Fast-Growing Areas in Semarang City

**Abstract.** This article aims to convey the results of the calculation of greenhouse gas (GHG) emissions from land cover change factors. The method used is *spatio-temporal* with remote sensing supported by *Support Vector Machine* classification techniques from *Deztsaka Tools*. The results obtained were the most significant changes in land cover occurred in the forest land cover class which decreased by 1515.29 Ha (21%). Carbon reserves in fast-growing areas have decreased by 90,741.06 tons (68.58%) and 22% of the area has released GHG emissions in the amount of more than 1000 tons. This phenomenon requires serious attention because land cover change is very significant, so that control efforts through spatial planning policies are absolutely necessary.

**Keywords:** GHG; Remote Sensing; Support Vector Machines

#### I. PENDAHULUAN

Diskusi yang berkembang saat ini mengenai pembangunan perkotaan adalah permasalahan keseimbangan antara pembangunan dan keberlanjutan lingkungan [1]–[3]. Seperti diketahui bahwa lebih dari 60% penduduk dunia tinggal di perkotaan, sehingga kota menjadi salah satu wujud aktivitas yang masif dan berpengaruh terhadap kehidupan masyarakat [4]. Salah satu dampak dari pembangunan perkotaan adalah perubahan tutupan dan fungsi lahan dimana dominasi alih fungsi lahan dari non-terbangun menjadi terbangun adalah bukti nyata adanya pengaruh pembangunan perkotaan [5].

Fenomena ini terjadi hampir di seluruh kota di dunia dimana secara global berpengaruh terhadap index keberlanjutan lingkungan [6]. Seperti studi yang dilakukan oleh Nguyen dan Liou [6] yang menunjukkan bahwa kota cepat tumbuh memiliki tingkat kerentanan yang besar terhadap masalah lingkungan, salah satunya yang terjadi di Indonesia khususnya pulau Jawa. Studi tersebut menunjukkan pulau Jawa yang merupakan pusat pembangunan di Indonesia memiliki indeks kerentanan sangat tinggi yaitu diatas 3,5 [6]. Permasalahan ini menjadi penting ketika alih fungsi lahan memberikan kontribusi pada penurunan kualitas lingkungan dan menyebabkan kerentanan. Dengan data tersebut,

perlu adanya kajian mengenai dampak yang ditimbulkan secara lebih mendalam.

Sebagai upaya mendetailkan permasalahan, maka perlu dilakukan studi dengan mengambil contoh kasus pada kawasan cepat tumbuh di Pulau Jawa salah satunya di Kota Semarang. Semarang merupakan salah satu kawasan Strategis Nasional (KSN) di Indonesia dengan fungsi utama sebagai Ibukota Provinsi Jawa Tengah. Sebagai Kota metropolitan, Semarang mengalami permasalahan lingkungan akibat dari cepatnya urbanisasi dan alih fungsi lahan [1], [3], [5], [7]–[10] dan adanya perubahan iklim [3], [7], [11], [12].

Lebih lanjut, Kota Semarang merupakan salah satu kota dengan tingkat pertumbuhan dan konsentrasi penduduk yang paling tinggi di Jawa Tengah (1,4% per tahun) [5]. Salah satu pemicu pertumbuhan penduduk di Kota Semarang adalah keberadaan kawasan pendidikan yang cepat tumbuh khususnya di Bagian Selatan Kota Semarang yaitu Kecamatan Tembalang dan Banyumanik. Pada kawasan tersebut memiliki aktivitas utama sebagai kawasan pendidikan yang di antaranya adalah kawasan kampus Universitas Diponegoro Tembalang, kawasan kampus Politeknik Negeri Semarang, kawasan kampus Universitas Pandanaran, dan Politeknik Kesehatan Semarang.

Pembangunan sarana pendidikan di Tembalang dan Banyumanik menyebabkan terjadinya perubahan pola pemanfaatan ruang dari lahan non-terbangun menjadi kawasan terbangun. Perubahan tersebut memicu terjadinya pola perubahan aktivitas kawasan dan tumbuhnya aktivitas-aktivitas baru seperti aktivitas perdagangan dan jasa untuk mendukung fungsi kawasan. Selanjutnya, kawasan pendidikan tinggi juga menjadi stimulus perubahan aktivitas dan mempercepat terjadinya perubahan tutupan lahan dengan tujuan untuk mawadahi segala bentuk aktivitas baru sebagai dampak lanjutan dari efek domino keberadaan kampus.

Perubahan-perubahan yang terjadi berdampak pada keadaan lingkungan yang terus mengalami degradasi. Hal ini diperparah dengan terjadinya emisi karbon yang berkontribusi pada pemanasan global. Melihat pentingnya hal tersebut, maka pemantauan kualitas lingkungan sangat diperlukan sebagai langkah awal dalam upaya meminimalisir terjadinya degradasi lingkungan. Salah satu pengukuran kualitas lingkungan adalah emisi gas rumah kaca (GRK) yang dikeluarkan dalam suatu kawasan [13], [14]. Pengukuran ini penting untuk dapat menilai dampak dari kawasan

cepat tumbuh terhadap keberlanjutan lingkungan yang dilihat dari faktor alih fungsi lahan.

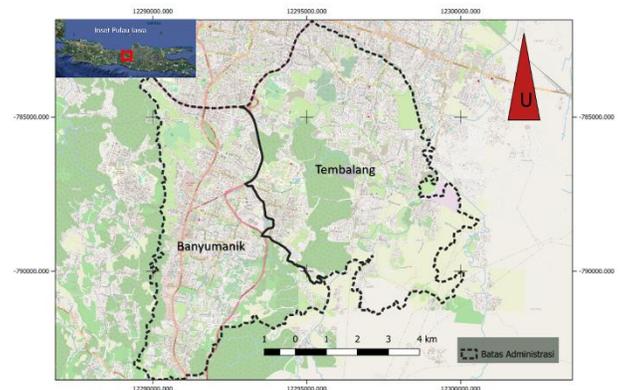
Berbagai studi alih fungsi lahan yang pernah dilakukan di Kota Semarang secara umum belum fokus pada menghitung emisi GRK. Studi sebelumnya masih fokus pada melihat perubahan tutupan lahan secara makro [1], [5], [15]–[17] dan belum memberikan gambaran degradasi lingkungan dari perubahan tutupan lahan dan GRK.

Dengan demikian, studi ini memiliki tujuan dan fokus pada penghitungan Emisi GRK dengan memanfaatkan teknologi penginderaan jauh. Lebih lanjut penggunaan teknologi penginderaan jauh menggunakan teknik interpretasi *Support Vector Machine* yang memiliki beberapa keunggulan sehingga hasil interpretasi citra lebih detail khususnya dalam mengklasifikasikan tutupan lahan dan perubahannya.

## II. METODOLOGI

### 2.1 Wilayah studi

Wilayah studi pada artikel ini adalah kawasan cepat tumbuh di bagian selatan Kota Semarang. Secara detail, kecamatan yang diambil adalah Kecamatan Tembalang dan Banyumanik. Berikut peta wilayah studi sesuai seperti pada **Gambar 1**.



Gambar 1. Wilayah studi

### 2.2 Metode penelitian

Metode yang digunakan adalah *spatio temporal* menggunakan teknologi penginderaan jauh yang didukung teknik klasifikasi tutupan lahan menggunakan SVM (*Support Vector Machine*) [18]–[21]. Selanjutnya, dilakukan perhitungan kandungan karbon dari masing-masing jenis tutupan lahan (**Gambar 2**).



Gambar 2. Diagram alir

Untuk mengetahui perubahan tutupan lahan, studi ini menggunakan *cross raster* dengan data citra landsat (no path 121-119/no row 65) tahun 2008 dan 2018 (10 tahun). Perangkat lunak yang digunakan adalah QGIS 3.2.3 dengan *Plugin Dzetsaka Tools* yang dikombinasikan dengan Modul *Pip-Python 3* [22], [23].

Studi ini juga menggunakan analisis *gain and loss/stock difference* untuk melihat pelepasan karbon atau emisi GRK yang dikeluarkan oleh perubahan tutupan lahan [24], [25]. Selanjutnya dilakukan reklasifikasi dari besaran emisi dari beberapa hal seperti; (a) Identifikasi stok karbon-Identifikasi stok karbon per jenis tutupan lahan

dapat dilakukan dengan mengalikan dengan faktor emisi untuk setiap jenis tutupan lahan, (b) Estimasi emisi GRK, estimasi ini melihat bentuk perubahan tutupan lahan sebagai data aktivitas yang kemudian dikalikan dengan faktor emisi yaitu Jumlah GRK yang dikeluarkan oleh satu unit luas lahan [25], seperti pada persamaan (1).

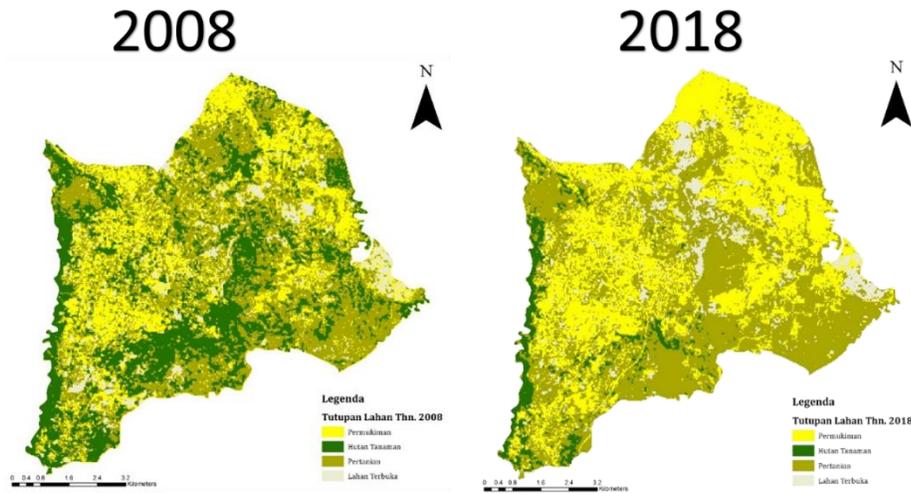
$$Emisi = Data\ Aktivitas\ (Luas\ Lahan) \times\ Faktor\ Emisi \dots (1)$$

### III. HASIL DAN PEMBAHASAN

**3.1 Perubahan Tutupan Lahan Tahun 2008-2018**  
Perubahan tutupan lahan yang terjadi dalam kurun waktu 10 tahun terakhir cukup signifikan, dimana terjadi perubahan tutupan lahan yang sangat besar dari tutupan lahan non-terbangun menjadi terbangun. Tutupan lahan yang paling banyak mengalami perubahan adalah tutupan lahan hutan tanaman, dimana pada tahun 2018 mengalami penurunan sebesar 81% dari luas lahan hutan tanaman tahun 2008 atau sebesar 1.515,29 ha (lihat **Gambar 3, Tabel 1, dan Tabel 4**).

**3.2 Perubahan Cadangan Karbon 2008-2018**  
Perubahan cadangan karbon dilihat berdasarkan luas tutupan lahan dari tahun 2008-2018 yang kemudian dikalikan dengan faktor emisi (**Tabel 2**) untuk setiap jenis tutupan lahan. Pada wilayah studi, hutan merupakan jenis tutupan lahan yang memiliki kemampuan mengikat karbon paling besar. Dalam hal ini, tutupan lahan hutan tanaman mampu menyimpan karbon sebanyak 64 ton per hektar (**Tabel 3**). Apabila dilakukan perhitungan pada wilayah studi, maka diperoleh hasil jumlah stok karbon selama kurun waktu 10 tahun terakhir mengalami penurunan cadangan karbon sebesar 91.825,25 ton atau sebesar 69,35%.

Pengurangan stok karbon pada wilayah studi salah satunya disebabkan oleh berkurangnya tutupan lahan hutan berkanopi yang berubah menjadi jenis tutupan lahan lain seperti permukiman. Dengan adanya perubahan kemampuan untuk menyimpan cadangan karbon, maka terdapat emisi karbon yang dikeluarkan yang berdampak pada kelestarian lingkungan.



Gambar 3. Tutupan Lahan di Wilayah Cepat Tumbuh Tembalang-Banyumanik, Kota Semarang

TABEL 1. TUTUPAN LAHAN KECAMATAN TEMBALANG-BANYUMANIK TAHUN 2008 DAN 2018

No	Tutupan Lahan	2008		2018	
		Luas (ha)	Prosentase (%)	Luas (ha)	Prosentase (%)
1.	Permukiman	1.665,04	24%	2.757,36	39%
2.	Hutan Tanaman	1.849,94	26%	334,65	5%
3.	Pertanian	3.102,88	44%	3.362,59	48%
4.	Lahan Terbuka	421,94	6%	561,46	8%

TABEL 2. FAKTOR EMISI UNTUK SETIAP JENIS TUTUPAN LAHAN

No	Tutupan Lahan	Cadangan C (t/ha)
1.	Permukiman	4
2.	Hutan Tanaman	64
3.	Pertanian	2
4.	Lahan Terbuka	2,5

TABEL 3. CADANGAN KARBON UNTUK SETIAP JENIS TUTUPAN LAHAN TAHUN 2008 DAN TAHUN 2018

No	Tutupan Lahan	2008		2018	
		Cadangan C (Ton)	Prosentase (%)	Cadangan C (Ton)	Prosentase (%)
1.	Permukiman	6.660,16	5,03%	11.029,44	27,18%
2.	Hutan Tanaman	118.396,20	89,47%	21.417,60	52,78%
3.	Pertanian	6.205,76	4,69%	6.725,18	16,57%
4.	Lahan Terbuka	1.054,85	0,78%	1.403,65	3,45%
Total		132.401,12	100%	40.575,87	100%

TABEL 4. PERUBAHAN TUTUPAN LAHAN DARI TAHUN 2008 KE 2018

Tahun		2018				Total
		Permukiman	Hutan Tanaman	Pertanian	Lahan Terbuka	
2008	Permukiman	1.162,05	6,79	348,39	128,98	1.646,21
	Hutan Tanaman	308,61	298,83	1.192,44	47,03	1.846,91
	Pertanian	1.130,66	25,48	1.697,76	247,19	3.101,09
	Lahan Terbuka	156,05	3,55	124,01	138,26	421,86
Total		2.757,36	334,65	3.362,59	561,46	7.039,83

### 3.3 Pembahasan

Estimasi emisi gas rumah kaca diperoleh dengan cara melihat pola perubahan tutupan lahan dari tahun 2008 hingga tahun 2018 (**Tabel 5** dan **Tabel 6**). Karena dalam hal ini, setiap jenis tutupan lahan tertentu yang berubah menjadi tutupan lahan tertentu lainnya dapat melepas karbon dengan jumlah yang berbeda, bahkan memungkinkan untuk terjadi sekuestrasi karbon apabila terjadi perubahan tutupan lahan dengan daya serap karbon rendah ke tinggi. Setelah diketahui pola perubahan tutupan lahan, perlu dilihat satuan cadangan karbon untuk setiap tutupan lahan. Fakta ini menunjukkan bahwa berkurangnya hutan dan bertambahnya permukiman memiliki dampak yang besar terhadap emisi karbon. Hal ini sesuai dengan beberapa riset mengenai perubahan tutupan lahan dan emisi karbon [13], [14], [26] sehingga perlu adanya upaya pengendalian alih fungsi lahan.

Lebih lanjut, perubahan cadangan karbon secara keseluruhan dapat membantu estimasi emisi yang dikeluarkan sebagai akibat adanya perubahan tutupan lahan. Berdasarkan hasil perhitungan yang diperoleh, maka fakta menunjukkan jumlah emisi bersih yang dikeluarkan sebesar 95.823 ton karbon. Emisi karbon yang dikeluarkan disebabkan oleh adanya perubahan tutupan lahan hutan menjadi tutupan lahan lain terutama permukiman dan pertanian. Ini sesuai dengan studi dari Wu [13] dimana emisi dan sekuestrasi memiliki hubungan erat dengan tutupan lahan.

Fakta lain terungkap bahwa sekuestrasi karbon sebesar 4.355 ton karbon yang disebabkan oleh adanya perubahan tutupan lahan dengan kemampuan menyimpan karbon yang lebih rendah ke lebih tinggi, seperti pada perubahan tutupan lahan pertanian menjadi permukiman. Setelah diperoleh besaran emisi yang dikeluarkan dari masing-masing perubahan tutupan lahan, maka dilakukan reklasifikasi besaran emisi sesuai yang disampaikan pada **Gambar 4**.

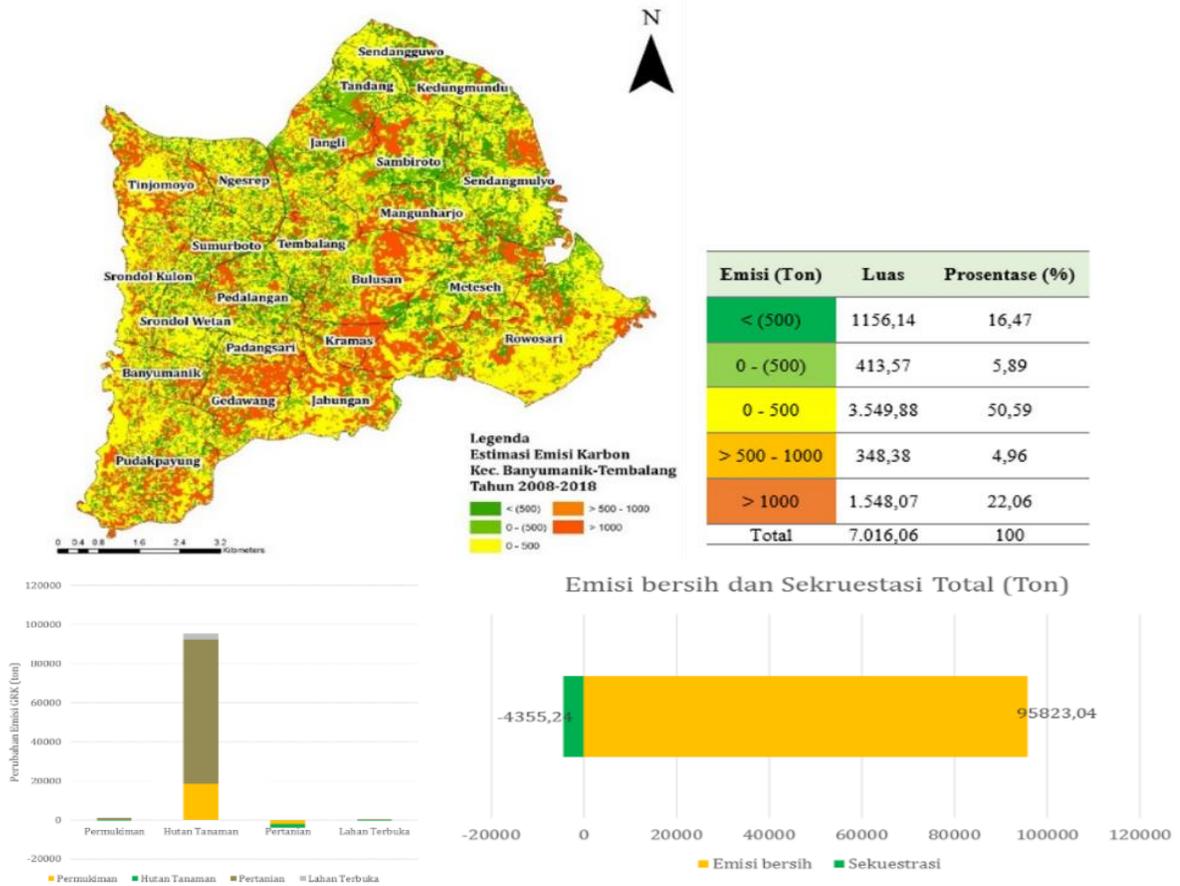
Perubahan tutupan lahan paling signifikan terjadi pada kelas tutupan lahan hutan dimana mengalami penurunan sebesar 1515,29 ha (21%) dalam kurun waktu 10 tahun terakhir. Cadangan karbon pada kawasan cepat tumbuh di Kecamatan Tembalang-Banyumanik mengalami penurunan sebesar 90.741,06 ton (68,58%). Terdapat jumlah emisi bersih yang dilepaskan sebanyak 91.467,8 ton karbon. Sebesar 22% kawasan melepaskan emisi GRK dengan jumlah > 1000 ton. Kondisi ini membutuhkan perhatian khusus karena sesuai dengan konsep pembangunan berkelanjutan yang disampaikan oleh Sejati [1], Sugiri [2], dan Buchori [27] bahwa pengendalian di kawasan cepat tumbuh harus dilakukan dengan pemantauan melalui pemanfaatan instrumen perencanaan spasial yang tepat sehingga perubahan tutupan lahan yang dapat mempengaruhi keberlanjutan lingkungan dapat dikendalikan.

TABEL 5. PERUBAHAN FAKTOR EMISI BERDASARKAN PERUBAHAN TUTUPAN LAHAN

Tahun	2018				
	Permukiman	Hutan Tanaman	Pertanian	Lahan Terbuka	
2008	Permukiman	-	-60	2	1,5
	Hutan Tanaman	60	-	62	61,5
	Pertanian	-2	-62	-	-0,5
	Lahan Terbuka	-1,5	-61,5	0,5	-

TABEL 6. ESTIMASI EMISI GRK TAHUN 2008-2018

Tahun	2018				Total	
	Permukiman	Hutan Tanaman	Pertanian	Lahan Terbuka		
2008	Permukiman	-	-407,26	696,78	193,47	<b>482,99</b>
	Hutan Tanaman	18516,40	-	73931,08	2892,57	<b>95340,05</b>
	Pertanian	-2261,32	-1579,88	-	-123,59	<b>-3964,79</b>
	Lahan Terbuka	-234,07	-218,38	62,00	-	<b>-390,45</b>
Total	<b>16021,02</b>	<b>-2205,51</b>	<b>74689,86</b>	<b>2962,44</b>	<b>91467,81</b>	



Gambar 4. Perubahan stok karbon dan emisi yang dikeluarkan

**IV. KESIMPULAN**

Hasil yang diperoleh adalah perubahan tutupan lahan paling signifikan terjadi pada kelas tutupan lahan hutan dimana alih fungsi fokus pada perubahan ke kawasan terbangun untuk keperluan fasilitas penunjang di kawasan cepat tumbuh yang merupakan kawasan pendidikan. Hal ini berdampak pada cadangan karbon pada kawasan cepat tumbuh mengalami penurunan sebesar 90.741,06 ton (68,58%) dan Sebesar 22% kawasan melepaskan emisi GRK dengan jumlah diatas 1000 ton. Fenomena ini membutuhkan perhatian serius karena perubahan tutupan lahan sangat signifikan sehingga upaya pengendalian melalui kebijakan penataan ruang mutlak diperlukan untuk keberlanjutan Kota Semarang khususnya di wilayah cepat tumbuh yaitu di Kecamatan Tembalang dan Banyumanik.

**V. DAFTAR PUSTAKA**

[1] A. W. Sejati, I. Buchori, and I. Rudiarto, "The Spatio-Temporal Trends of Urban

Growth and Surface Urban Heat Islands over Two Decades in the Semarang Metropolitan Region," *Sustain. Cities Soc.*, p. 101432, Jan. 2019.  
 [2] A. Sugiri, I. Buchori, and S. Soetomo, "Sustainable Metropolitan Development: Towards an Operational Model for Semarang Metropolitan Region," *Int. J. Environ. Cult. Econ. Soc. Sustain.*, vol. 7, no. 5, pp. 301–324, 2011.  
 [3] W. Handayani, I. Rudiarto, J. S. Setyono, U. E. Chigbu, and A. M. awanah Sukmawati, "Vulnerability assessment: A comparison of three different city sizes in the coastal area of Central Java, Indonesia," *Adv. Clim. Chang. Res.*, vol. 8, no. 4, pp. 286–296, 2017.  
 [4] WHO, *Urban Population Growth*. 2014.  
 [5] A. W. Sejati, I. Buchori, and I. Rudiarto, "The Impact of Urbanization to Forest Degradation in Metropolitan Semarang: A

- Preliminary Study,” *IOP Conf. Ser. Earth Environ. Sci.*, vol. 123, no. 1, p. 12011, 2018.
- [6] K.-A. Nguyen and Y.-A. Liou, “Global mapping of eco-environmental vulnerability from human and nature disturbances,” *Sci. Total Environ.*, 2019.
- [7] A. W. Sejati and I. Buchori, “A GIS Model for Predicting Disaster Prone Areas Affected by Global Sea-Level Rise: a Case Study of Semarang City,” in *ICRD International Conference*, 2010, pp. 5–12.
- [8] I. Buchori *et al.*, “A predictive model to assess spatial planning in addressing hydro-meteorological hazards: A case study of Semarang City, Indonesia,” *Int. J. Disaster Risk Reduct.*, vol. 27, no. October 2017, pp. 415–426, 2018.
- [9] M. A. Marfai and L. King, “Monitoring land subsidence in Semarang, Indonesia,” *Environ. Geol.*, vol. 53, no. 3, pp. 651–659, 2007.
- [10] M. A. Marfai, L. King, J. Sartohadi, and S. Sudrajat, “The impact of tidal flooding on a coastal community in Semarang, Indonesia,” *Environmentalist*, vol. 28, pp. 237–248, 2008.
- [11] I. Rudiarto, W. Handayani, and J. S. Setyono, “A Regional Perspective on Urbanization and Climate-Related Disasters in the Northern Coastal Region of Central Java, Indonesia,” *Land*, vol. 7, no. 1, p. 34, 2018.
- [12] W. Handayani, M. R. Fisher, I. Rudiarto, J. S. Setyono, and D. Foley, “Operationalizing resilience: A content analysis of flood disaster planning in two coastal cities in Central Java, Indonesia,” *Int. J. Disaster Risk Reduct.*, p. 101073, 2019.
- [13] Y. Wu, J. Shen, X. Zhang, M. Skitmore, and W. Lu, “Reprint of: The impact of urbanization on carbon emissions in developing countries: a Chinese study based on the U-Kaya method,” *J. Clean. Prod.*, 2017.
- [14] A. Sugiri and I. Buchori, “Towards low emission development: Prospects of applying mbis in the industrial sector of central java, Indonesia,” *Am. J. Environ. Sci.*, vol. 12, pp. 225–236, 2016.
- [15] R. Nugraha and S. Rahayu, “Kajian Perubahan Ketersediaan Ruang Terbuka Hijau Di Kecamatan Tembalang, Kota Semarang, Berbasis Interpretasi Citra Satelit,” *Geoplanning J.*, vol. 1, no. 1, pp. 13–20, 2014.
- [16] F. S. Arta and B. Pigawati, “The patterns and characteristics of peri-urban settlement in East Ungaran District, Semarang Regency,” *Geoplanning J. Geomatics Plan.*, vol. 2, no. 2, pp. 103–115, 2015.
- [17] Kusriani, Suharyadi, and S. R. Hardoyo, “Perubahan Penggunaan Lahan Dan Faktor Yang Mempengaruhinya Di Kecamatan Gunungpati Kota Semarang,” *Maj. Geogr. Indones.*, vol. 25, no. 1, pp. 25–42, 2011.
- [18] Zylshal, S. Sulma, F. Yulianto, J. T. Nugroho, and P. Sofan, “A support vector machine object based image analysis approach on urban green space extraction using Pleiades-1A imagery,” *Model. Earth Syst. Environ.*, vol. 2, no. 2, p. 54, Jun. 2016.
- [19] J. R. Otukei and T. Blaschke, “Land cover change assessment using decision trees, support vector machines and maximum likelihood classification algorithms,” *Int. J. Appl. Earth Obs. Geoinf.*, vol. 12, no. SUPPL. 1, pp. 27–31, 2010.
- [20] F. E. Fassnacht, L. Li, and A. Fritz, “Mapping degraded grassland on the Eastern Tibetan Plateau with multi-temporal Landsat 8 data - where do the severely degraded areas occur?,” *Int. J. Appl. Earth Obs. Geoinf.*, vol. 42, pp. 115–127, 2015.
- [21] D. J. Lary, A. H. Alavi, A. H. Gandomi, and A. L. Walker, “Machine learning in geosciences and remote sensing,” *Geosci. Front.*, vol. 7, no. 1, pp. 3–10, 2016.
- [22] N. Karasiak, “dzetsaka: Classification tool.” 2017.
- [23] N. Baghdadi, C. Mallet, and M. Zribi, “Remote Sensing of Distinctive Vegetation in Guiana Amazonian Park,” *QGIS Appl. Agric. For. First Ed.*, pp. 215–244, 2018.
- [24] G. Setiawan, L. Syaufina, and N. Puspaningsih, “Estimasi hilangnya cadangan karbon dari perubahan penggunaan lahan di Kabupaten Bogor,” *J. Pengelolaan Sumberd. Alam dan Lingkung. (Journal Nat. Resour. Environ. Manag.*, vol. 5, no. 2, p. 141, 2015.
- [25] F. Agus *et al.*, “Pedoman Teknis Penghitungan Baseline Emisi dan Serapan Gas Rumah Kaca Sektor Berbasis Lahan: Buku I Landasan Ilmiah,” *Badan Perenc. Pembang. Nas. Republik Indones. Jakarta*, 2013.

- [26] D. Murdiyarso, K. Hergoualc'h, and L. V. Verchot, "Opportunities for reducing greenhouse gas emissions in tropical peatlands," *Proc. Natl. Acad. Sci.*, vol. 107, no. 46, pp. 19655–19660, Nov. 2010.
- [27] I. Buchori and A. Sugiri, "An empirical examination of sustainable metropolitan development in Semarang City, Indonesia," *Aust. Plan.*, vol. 53, no. 3, pp. 163–177, Jul. 2016.