

Estimasi Cadangan Karbon Akibat Perubahan Tutupan Lahan di Kabupaten Kendal

I. Permata¹, S. Rahayu²

^{1,2} Universitas Diponegoro, Indonesia

Article Info:

Received: 21 September 2020

Accepted: 9 September 2021

Available Online: 5 Oktober 2021

Keywords:

GHG Emissions; Land Cover Change; Carbon Stock

Corresponding Author:

Ilyalita Permata

Diponegoro University,

Semarang, Indonesia

Email:

ilyalitapermata@gmail.com

Abstract: Greenhouse gas emissions are the main cause of global warming through the Green House Effect event. This occurs due to an increase in greenhouse gas emissions from various emission sources, one of which is land cover change. Land cover on the earth's surface has a fixed carbon stock value that contributes to storing carbon stocks through its absorption capacity. So, if there is a change in land cover from one land cover to another, it will cause the carbon stock of a land cover to change. Research on changes in carbon stocks due to land cover changes were carried out in Kendal Regency. This study uses Landsat image data from 2008, 2013, and 2018. The method used is image interpretation with guided classifications and Stock Difference for calculating changes in carbon stocks. The results obtained from this study are the changes in land cover in Kendal Regency in 2008-2018. The occurrence of land cover conversion will affect the carbon stock stored in each type of land cover in the Kendal Regency. Kendal Regency's carbon stock for 10 years has decreased. In the period 2008-2013, the total decline in carbon stocks was -4,305,193.29 tons C. This situation was caused because land cover in 2008 had more total carbon stock than the total carbon stock in 2013. Meanwhile, in the 2013- period 2018, there was a change in the carbon stock of -1,450,080.51 ton C, where the land cover in 2013 had more total carbon stock compared to the total carbon stock stored in 2018. The difference in total carbon stock in a certain year is influenced by the area of land cover as well as the determination of the carbon stock that each land cover has. The results of calculations regarding the estimated carbon stock in the Kendal Regency can then be considered for stakeholders and policymakers to develop plans and scenarios (land use directions) that support the mitigation of land-based greenhouse gas emissions to address environmental problems.

Copyright © 2016 TPWK-UNDIP

This open access article is distributed under a

Creative Commons Attribution (CC-BY-NC-SA) 4.0 International license.

How to cite (APA 6th Style):

Permata, I., & Rahayu, S. (2021). Estimasi Cadangan Karbon Akibat Perubahan Tutupan Lahan di Kabupaten Kendal. *Jurnal Teknik PWK (Perencanaan Wilayah Dan Kota)*, 10(3), 220–230.

1. PENDAHULUAN

Pemanasan global dalam jangka panjang menjadi penyebab terjadinya perubahan iklim merupakan permasalahan lingkungan yang saat ini masih menjadi tantangan bagi dunia. Penyebab terjadinya pemanasan global dikarenakan oleh meningkatnya gas rumah kaca (GRK) di atmosfer bumi. Gas rumah kaca (GRK) yang menyebabkan terjadinya pemanasan global dapat ditimbulkan secara alami maupun dari kegiatan manusia (*anthropogenic*) (IPCC, 2007). Gas rumah kaca (GRK) akan bersifat sebagai insulator (penahan) sehingga panas matahari yang dipancarkan ke bumi akan tertahan. Proses tersebut dikenal sebagai fenomena Efek Rumah Kaca, dimana keseimbangan radiasi antara radiasi matahari yang masuk dan penyerapan radiasi inframerah yang dipancarkan kembali oleh atmosfer tertahan untuk ke luar angkasa sehingga meningkatkan pemanasan pada permukaan bumi (Anderson dkk., 2016). Berdasarkan proses tersebut, dapat disimpulkan bahwa gas rumah kaca (GRK) merupakan faktor utama terjadinya pemanasan global.

Konsentrasi gas rumah kaca (GRK) di atmosfer sebagai pemicu terjadinya pemanasan global akan terus meningkat apabila tidak dilakukan suatu upaya untuk mengurangi emisi GRK. Komitmen Indonesia untuk

menurunkan emisi GRK tertuang dalam Peraturan Presiden No. 61 Tahun 2011 tentang Rencana Aksi Nasional Penurunan Emisi GRK dan Peraturan Presiden No. 71 Tahun 2011 tentang Penyelenggaraan Inventarisasi GRK Nasional. Upaya penurunan emisi GRK tersebut bertujuan untuk melaksanakan kegiatan penyelenggaraan, perolehan dan pemutakhiran data dan informasi emisi GRK secara periodik dari berbagai sumber emisi (*source*), serapan (*sink*), dan simpanan (*stock*).

Berkaitan dengan hal tersebut, salah satu sumber emisi GRK berasal dari sektor pertanian, kehutanan dan penggunaan lahan lainnya yang sering disebut sebagai sektor AFOLU (*agriculture, forestry, and other land uses*) (Boer dkk., 2012). Sehingga, dalam pelaksanaan kegiatan inventarisasi GRK salah satunya dapat dilakukan dengan mengestimasi emisi karbon dari sektor berbasis lahan. Emisi GRK berbasis lahan berasal dari perubahan stok karbon (*carbon stock*) yang terdapat pada simpanan karbon pada suatu ekosistem lahan. Perubahan lahan menyebabkan terjadinya masalah yaitu hilangnya cadangan karbon hingga menyebabkan terjadinya peningkatan emisi GRK (Setiawan dkk., 2015). Hal ini terjadi karena adanya konversi lahan yang semula merupakan lahan vegetasi kemudian berubah menjadi lahan non vegetasi sesuai dengan kepentingan tertentu (Sadewo dan Buchori, 2018) sehingga mengurangi kemampuan lahan untuk menyerap karbon. Perubahan ini yang kemudian mengakibatkan berubahnya cadangan karbon dari suatu perubahan lahan.

Kabupaten Kendal memiliki luas wilayah 1.005,86 km² atau 100.586 Ha menurut Dinas Pekerjaan Umum Kabupaten Kendal tahun 2017. Kabupaten Kendal memiliki tutupan lahan dengan proporsi terluas adalah untuk lahan sawah yakni 250,79 km² atau 25,02 persen dari total luas Kabupaten Kendal. Tutupan lahan sawah yang memiliki luas paling besar mengalami konversi lahan terutama di Kecamatan Kaliwungu, Brangsong dan Kecamatan Kota Kendal pada tahun 2010 sampai tahun 2014 sebesar 54,753 Ha (Septiofani dkk., 2016). Pada tahun 2005 sampai 2017 terjadi perubahan tutupan lahan dengan adanya penambahan dan pengurangan pada tutupan lahan tertentu seperti terjadinya peningkatan tertinggi pada luas permukiman sebesar 260,65 Ha dan terjadi penurunan tertinggi pada jenis tutupan lahan sawah irigasi sebesar 235,54 Ha (Sadewo dan Buchori, 2018). Selain itu, pada tahun 2014 terjadi lahan kritis atau lahan yang tidak produktif di Kabupaten Kendal mencapai total 1,8 hektar dengan tidak terdapat pohon ataupun tanaman (Setiawan, 2014).

Pengaruh yang besar dari aktivitas perubahan lahan terhadap cadangan karbon memerlukan kegiatan pengukuran atau perhitungan terhadap cadangan karbon yang tersimpan sebagai upaya untuk mengetahui besarnya cadangan karbon pada saat tertentu dan mengetahui besarnya cadangan apabila terjadi hal-hal yang berpengaruh pada penambahan atau pengurangan cadangan karbon (Wibowo dkk., 2013). Untuk memperhitungkan perubahan lahan serta memperhitungkan besarnya cadangan karbon yang tersimpan, teknologi citra satelit didukung oleh teknik penginderaan jauh yakni interpretasi dan analisis citra landsat kemudian dilakukan uji lapangan dapat mendukung kegiatan mengestimasi emisi karbon yang mana lokasi penelitian dilakukan di Kabupaten Kendal. Perubahan tutupan lahan berpengaruh terhadap perubahan emisi karbon wilayah seperti yang terjadi di Kabupaten Kendal. Penelitian yang akan dilakukan ini bertujuan untuk dapat mengestimasi berkurangnya cadangan karbon akibat perubahan tutupan lahan di Kabupaten Kendal pada tahun 2008; 2013 dan 2018.

2. DATA DAN METODE

Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui estimasi berkurangnya cadangan karbon akibat perubahan tutupan lahan di Kabupaten Kendal sehingga metode penelitian yang akan digunakan adalah metode kuantitatif. Metode kuantitatif merupakan metode penelitian yang banyak digunakan oleh para penelitian untuk mengetahui sesuatu secara terukur dengan hasil yang pasti. Metode kuantitatif adalah metode yang lebih menekankan pada aspek pengukuran secara obyektif terhadap suatu fenomena, fakta, sifat serta hubungan fenomena tertentu secara komprehensif dan integral (Sugiyono, 2010). Penelitian kuantitatif mengadakan eksplorasi lebih lanjut serta menemukan fakta dan menguji teori-teori yang timbul. Pada penelitian ini, metode kuantitatif digunakan untuk melakukan estimasi dan pengolahan data sekunder sehingga diperoleh hasil nilai estimasi perubahan cadangan karbon di wilayah penelitian.

2.1. Metode Pengumpulan Data

Pengumpulan data terbagi menjadi dua jenis yaitu pengumpulan data primer dan pengumpulan data sekunder. Pengumpulan data primer yaitu (1) Data tutupan lahan hasil interpretasi citra Landsat Kabupaten

Kendal tahun 2008; 2013 dan 2018; (2) Data lapangan (*ground truth*) untuk uji akurasi ketelitian. Data primer tersebut merupakan data yang nantinya akan diolah menjadi data untuk melakukan estimasi karbon pada perubahan tutupan lahan yang terjadi di tahun 2008; 2013; dan 2018. Pengumpulan data sekunder dilakukan dengan cara telaah dokumen.

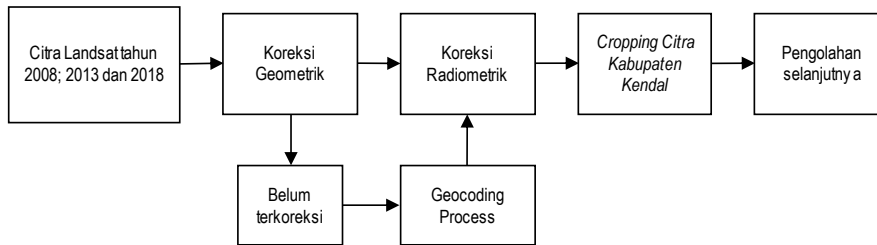
2.2. Metode Analisis

Teknik analisis penelitian ini secara terpisah dapat dijelaskan sebagai berikut:

a. Pengolahan Awal Citra

Pengolahan awal citra ini terdiri dari langkah dalam melakukan koreksi citra yaitu Koreksi Radiometrik dan Koreksi Geometrik, kemudian yang dilanjutkan dengan Cropping citra dengan batas wilayah studi yang digunakan untuk penelitian. Untuk dapat mengetahui proses yang dilakukan pada tahap pengolahan awal citra, maka dapat melihat diagram kerja pada Gambar 1 di bawah ini.

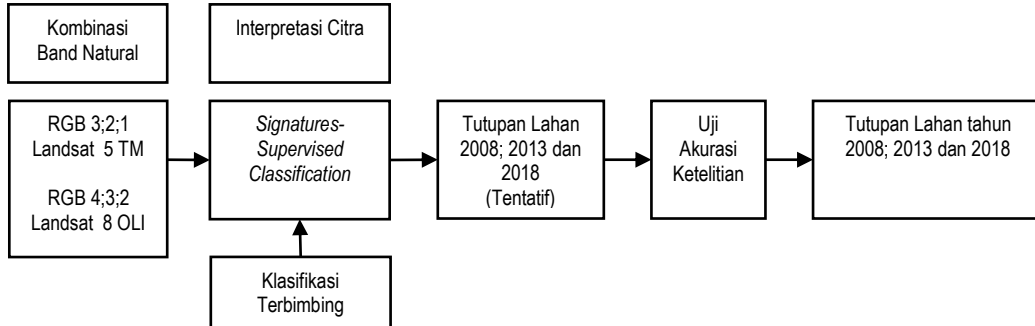
Gambar 1. Pengolahan Awal Citra (Analisis, 2019)



b. Identifikasi Penutup Lahan

Pada tahap ini peneliti mulai melakukan analisa lebih mendalam dengan kemampuan interpretasi serta dapat membuktikan hasil identifikasi dengan fakta yang ada di lapangan sehingga dapat menunjukkan nilai keakuratan penelitian. Proses yang dilakukan pada tahap ini dapat dilihat melalui diagram kerja pada Gambar 2 di bawah ini.

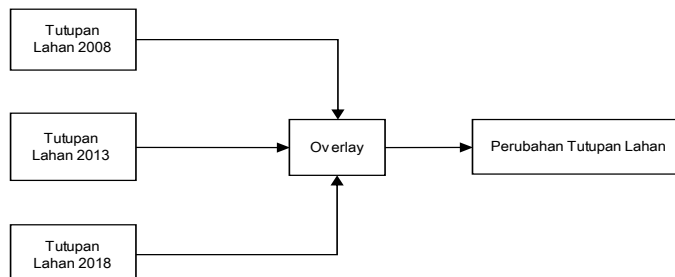
Gambar 2. Identifikasi Penutup Lahan (Analisis, 2019)



c. Analisa Perubahan Tutupan Lahan

Pada tahap ini sangat diperlukan data hasil interpretasi tutupan lahan pada tahun yang ditentukan agar dapat diketahui perubahan tutupan lahan yang dihasilkan. Proses analisa perubahan tutupan lahan pada periode tahun yang ditentukan dapat dilihat melalui diagram kerja pada Gambar 3 di bawah ini.

Gambar 3. Analisa Perubahan Tutupan Lahan (Analisis, 2019)



d. Analisa Cadangan Karbon

Perhitungan cadangan karbon akan dilakukan dengan menggunakan luas setiap tipe tutupan lahan dikalikan dengan angka cadangan karbonnya (ketetapan Pedoman Teknis Penghitungan Baseline Emisi Dan Serapan Gas Rumah Kaca Sektor Berbasis Lahan (Tabel 1)), kemudian dijumlah total cadangan karbon per tahun. Secara umum, cadangan karbon dapat diperhitungkan dengan rumus dapat dilihat pada Gambar 4 di bawah ini.

Tabel 1. Cadangan Karbon Tiap Tutupan Lahan (Agus dkk., 2014)

| No | Tutupan Lahan | Cadangan C (ton C/ha) | Referensi |
|----|-------------------------------|-----------------------|--|
| 1 | Hutan Lahan Kering Primer | 195 | World Agroforestry Centre (2011); Prasetyo et al. (2000); Laumonier et al. (2010); IPCC (2006) for Tropical rainforest; Harja et al. (2011) dengan nilai cadangan karbon berturut-turut 300, 252, 180, 150, 121 dan 93 t/ha |
| 2 | Hutan Lahan Kereng Sekunder | 169 | World Agroforestry Centre (2011) untuk hutan sekunder berkerapatan tinggi; Rahayu et al. (2005); IPCC (2006) for tropical Asia; Saatchi et al. (2011); World Agroforestry Centre (2011) untuk hutan berkerapatan rendah, Harja et al. (2011) dengan nilai berturut-turut 250, 203, 180, 158, 150 dan 74 t/ha |
| 3 | Hutan Mangrove Primer | 170 | Komiyama et al. (2008) |
| 4 | Hutan Rawa Primer | 196 | MoF (2008), IFCA |
| 5 | Hutan tanaman | 54 | World Agroforestry Centre (2011) tanah mineral 70 t/ha, tanah gambut 60 t/ha |
| 6 | Semak Belukar | 30 | IPCC (2006); Istomo et al. (2006); Jepsen (2006); World Agroforestry Centre (2011) berturut-turut 35, 30, 20 dan 27 t/ha. |
| 7 | Perkebunan | 63 | Palm et al. (1999) perkebunan karet (89 t/ha); Rogi (2002) kelapa sawit (60t/ha); van Noordwijk (2010) kelapa sawit (40 t/ha) |
| 8 | Permukiman | 4 | World Agroforestry Centre (2011) |
| 9 | Tanah Terbuka | 2,5 | Asumsi |
| 10 | Padang rumput | 4 | Rahayu et al. (2005) |
| 11 | Hutan Mangrove Sekunder | 120 | Komiyama et al. (2008) |
| 12 | Hutan Rawa Sekunder | 155 | MoF (2008) |
| 13 | Belukar Rawa | 30 | Diasumsi sama dengan belukar di lahan kering |
| 14 | Pertanian Lahan Kering | 10 | Hashimoto et al. (2000), Murdiyarso and Wasrin (1996); World Agroforestry Centre (2011) berturut-turut 12,5; 10 dan 8 t/ha |
| 15 | Pertanian Lahan Kering Campur | 30 | Rahayu et al. (2005) (agroforestry) |
| 16 | Sawah | 2 | Palm et al. (1999) |
| 17 | Tambak | 0 | Asumsi |
| 18 | Bandara/Pelabuhan | 0 | Asumsi |
| 19 | Transmigrasi | 10 | BAPPENAS (2010), diasumsi bahwa sepertiga areal dialokasikan untuk pertanian campuran |
| 20 | Pertambangan | 0 | Asumsi |
| 21 | Rawa | 0 | Asumsi |

Gambar 4. Analisa Cadangan Karbon (Direktorat Inventarisasi dan Pemantauan Sumber Daya Hutan, 2015)



f. Analisa Perubahan Cadangan Karbon

Analisa perubahan cadangan karbon dalam suatu biomassa yang berubah akibat perubahan tutupan lahan dapat dihitung dengan menggunakan pendekatan atau metode *Stock Difference*. Metode *stock-difference* merupakan metode untuk menghitung stok karbon yang didasarkan pada *stock-based approach*, yaitu estimasi stok karbon pada setiap penyimpan karbon (tutupan lahan) dengan mengukur stok aktual biomassa pada periode awal dan akhir penghitungan (Direktorat Inventarisasi dan Pemantauan Sumber Daya Hutan, 2015). Untuk mengetahui perubahan cadangan karbon dapat diperhitungkan dengan metode *stock-difference* menggunakan persamaan sebagai berikut untuk perhitungan perubahan cadangan karbon pada periode waktu yang digunakan :

$$\Delta C = (Ct2 - Ct1)/(t2 - t1)$$

Sumber: Direktorat Inventarisasi dan Pemantauan Sumber Daya Hutan, 2015

Keterangan :

ΔC = perubahan stok karbon tahunan pada setiap penyimpan karbon (tC/tahun)

$Ct1$ = stok karbon setiap penyimpan karbon di awal (tC)

$Ct2$ = stok karbon setiap penyimpan karbon di akhir (tC)

$t1$ = tahun awal penyimpan karbon

$t2$ = tahun akhir penyimpan karbon

Lahan yang tutupan lahannya tidak berubah dalam periode waktu tertentu, diasumsikan tidak mengalami emisi (emisi nol) dan lahan yang mengalami perubahan tutupan mengalami emisi karbon sejumlah karbon yang dikandung oleh tutupan lahan awal dikurangi dengan cadangan karbon tutupan lahan berikutnya (Direktorat Inventarisasi dan Pemantauan Sumber Daya Hutan, 2015).

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Kategori Kelas Tutupan Lahan Kabupaten Kendal

Interpretasi tutupan lahan Kabupaten Kendal dilakukan secara multitemporal melalui data Citra Landsat tahun 2008, 2013 dan tahun 2018. Kegiatan interpretasi tutupan lahan ini digunakan untuk menganalisa perubahan tutupan lahan di Kabupaten Kendal. Interpretasi tutupan lahan melalui data penginderaan jauh didasarkan pada Peraturan Direktorat Jenderal Planologi Kehutanan No. P.1/VII-IPSDH/2015 tentang Pemantauan Penutupan Lahan. Pedoman interpretasi berdasarkan peraturan tersebut menghasilkan klasifikasi tutupan lahan di Kabupaten Kendal menjadi 7 kelas tutupan lahan yang dapat dilihat pada Tabel 2 berikut:

Table 2. Kategori Interpretasi Tutupan Lahan Kabupaten Kendal (Analisis, 2019)

| No | Kategori Tutupan Lahan | Keterangan |
|----|-------------------------------|--|
| 1. | Hutan Lahan Kering Primer | Hutan perbukitan, hutan dataran tinggi yang belum ditebang |
| 2. | Hutan Lahan Kering Sekunder | Hutan dataran tinggi bekas tebang, hutan dataran tinggi bekas bakar, Hutan Karet, Hutan Jati, Hutan Sengon, Hutan Pinus, Perhutani, Hutan Durian |
| 3. | Pertanian Lahan Kering Campur | Semak Belukar, Kebun Warga (Jagung, Pisang, Singkong, Kopi, Ubi Jalar, Singkong), Tegal, Rumput, Kebun campuran, Ladang |
| 4. | Sawah | Sawah Irigasi, Sawah Tadah Hujan, Sawah |
| 5. | Permukiman | Permukiman penduduk, lahan terbangun (perkantoran, perdagangan dan jasa), kawasan industri, jalan, jembatan |
| 6. | Tambak | Tambak udang, tambak ikan, budidaya mangrove |
| 7. | Tubuh Air | Sungai, pantai |

Interpretasi Tutupan Lahan Kabupaten Kendal Tahun 2008, 2013 dan 2018

Analisa untuk tutupan lahan Kabupaten Kendal dilakukan dengan teknik interpretasi citra satelit menggunakan klasifikasi terbimbing yang sebelumnya telah terkoreksi radiometrik dan geometrik. Tutupan lahan Kabupaten Kendal tahun 2008 dapat diketahui dengan melakukan analisa melalui citra satelit Landsat 5 TM yang terakuisisi pada tanggal 26 Juni 2008. Tutupan lahan Kabupaten Kendal tahun 2013 dapat diketahui dengan melakukan analisa melalui citra satelit Landsat 8 OLI yang terakuisisi pada tanggal 27 Agustus 2013. Tutupan lahan Kabupaten Kendal tahun 2018 dapat diketahui dengan melakukan analisa melalui citra satelit Landsat 8 OLI yang terakuisisi pada tanggal 05 Mei 2018. Tingkat ketelitian interpretasi yang dilakukan adalah sebesar 91,55%, dimana jumlah sampel yang dipilih berjumlah 154 sampel, dan jumlah data yang benar sebanyak 141 sampel. Berikut merupakan perhitungan uji ketelitian interpretasi tutupan lahan:

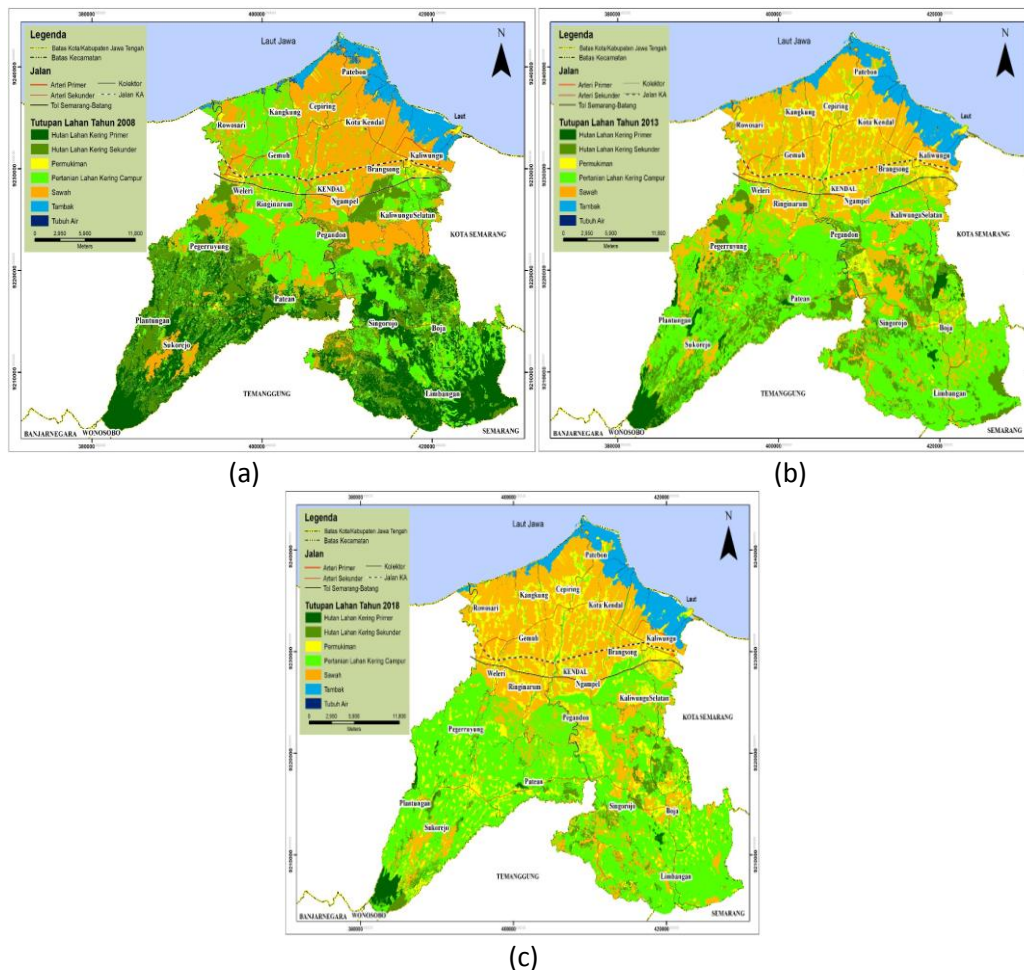
$$\begin{aligned} \text{Tingkat kebenaran interpretasi (\%)} &= \frac{141}{154} \times 100\% \\ &= 0,9155 \times 100\% = 91,55\% \end{aligned}$$

Luas tutupan lahan yang mendominasi pada tahun 2008 adalah tutupan lahan berupa Pertanian Lahan Kering Campur yang mencapai 27,42% dari total luas wilayah yaitu sebesar 27.523,25 Ha. Kemudian, luas tutupan lahan terkecil yaitu berupa tutupan lahan Tubuh Air sebesar 1,08% dari total luas wilayah yaitu sebesar 1.082,99 Ha. Luas tutupan lahan yang mendominasi pada tahun 2013 adalah tutupan lahan berupa Pertanian Lahan Kering Campur yang mencapai 41,98% dari total luas wilayah yaitu sebesar 42.136,59 Ha. Kemudian, luas tutupan lahan terkecil yaitu berupa tutupan lahan Tubuh Air sebesar 0,83% dari total luas wilayah yaitu sebesar 831,98 Ha. Luas tutupan lahan yang mendominasi pada tahun 2018 adalah tutupan lahan berupa Pertanian Lahan Kering Campur yang mencapai 45,62% dari total luas wilayah yaitu sebesar 45.793,00 Ha. Kemudian, luas tutupan lahan terkecil yaitu berupa tutupan lahan Tubuh Air sebesar 0,82% dari total luas wilayah yaitu sebesar 823,36 Ha. Selengkapnya dapat dilihat pada Tabel 3 dan Gambar 5 di bawah ini.

Tabel 3. Interpretasi Luas Tutupan Lahan Kabupaten Kendal (Analisis, 2020)

| No | Tutupan Lahan | Luas (Ha) | | |
|--------------|-------------------------------|-------------------|-------------------|-------------------|
| | | 2008 | 2013 | 2018 |
| 1. | Hutan Lahan Kering Primer | 19.076,61 | 2.982,67 | 1.128,58 |
| 2. | Hutan Lahan Kering Sekunder | 20.273,22 | 10.579,51 | 3.334,02 |
| 3. | Permukiman | 2.453,25 | 8.251,15 | 15.923,44 |
| 4. | Pertanian Lahan Kering Campur | 27.523,25 | 42.136,59 | 45.793,00 |
| 5. | Sawah | 26.088,48 | 30.973,30 | 28.760,02 |
| 6. | Tambak | 3.878,37 | 4.620,97 | 4.613,74 |
| 7. | Tubuh Air | 1.082,99 | 831,98 | 823,36 |
| Total | | 100.376,16 | 100.376,16 | 100.376,16 |

Gambar 5. (a) Tutupan Lahan Tahun 2008 (b) Tutupan Lahan Tahun 2013 (c) Tutupan Lahan Tahun 2018 (Analisis, 2020)



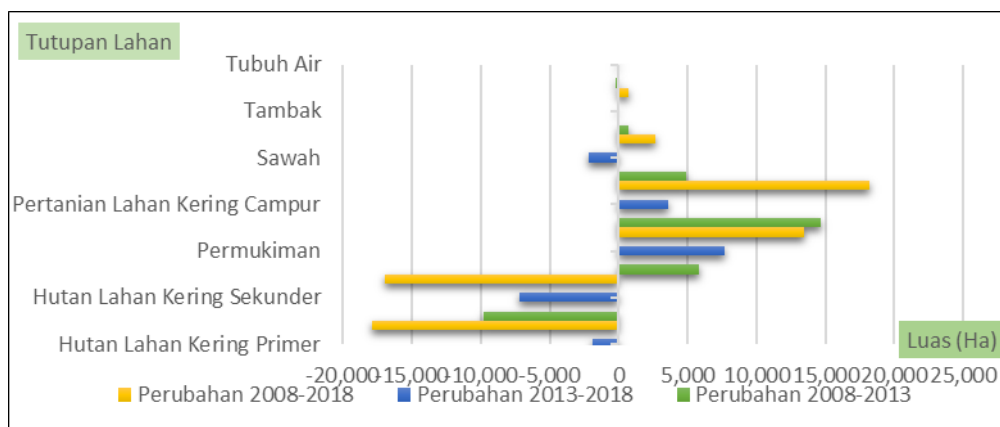
Perubahan Tutupan Lahan Kabupaten Kendal Tahun 2008-2018

Perubahan tutupan lahan di Kabupaten Kendal secara keseluruhan pada tiga periode tahun dapat dilihat pada Tabel 4 dan Gambar 6 di bawah ini:

Tabel 4. Perubahan Luasan Tutupan Lahan Kabupaten Kendal Tahun 2008-2018 (Analisis, 2020)

| Jenis Tutupan Lahan | Perubahan Tutupan Lahan | | Perubahan Tutupan Lahan | |
|-------------------------------|-------------------------|-------------|-------------------------|-------------|
| | 2008-2013 | 2013-2018 | 2008-2013 | 2008-2018 |
| Hutan Lahan Kering Primer | -16.093,94 | -1.854,09 | -17.948,03 | -17.948,03 |
| Hutan Lahan Kering Sekunder | -9.693,70 | -7.245,49 | -16.939,20 | -16.939,20 |
| Pertanian Lahan Kering Campur | 5.797,90 | 7.672,29 | 13.470,19 | 13.470,19 |
| Sawah | 14.613,34 | 3.656,41 | 18.269,75 | 18.269,75 |
| Tambak | 4.884,82 | -2.213,28 | 2.671,54 | 2.671,54 |
| Permukiman | 742,60 | -7,23 | 735,37 | 735,37 |
| Tubuh Air | -251,01 | -8,62 | -259,63 | -259,63 |
| Total | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 |

Gambar 6. Perubahan Luasan Tutupan Lahan Kabupaten Kendal Tahun 2008-2018 (Analisis, 2020)



Berdasarkan data perubahan tutupan lahan Kabupaten Kendal tahun 2008-2018, terjadi peningkatan dan penurunan luas lahan dari masing-masing tutupan lahan kecuali tutupan lahan Hutan Lahan Kering Primer dan Hutan Lahan Kering Sekunder yang mengalami penurunan luas lahan, dan Permukiman yang hanya mengalami peningkatan luas lahan. Penurunan luas terbesar tutupan lahan Hutan Lahan Kering Primer terjadi di Kecamatan Limbangan yaitu 5.011,61 Ha. Penurunan luas terbesar tutupan lahan Hutan Lahan Kering Sekunder terjadi di Kecamatan Patean yaitu 3.351,82 Ha. Peningkatan Permukiman terbesar terjadi di Kecamatan Patean yaitu peningkatan luas 1.301,87 Ha.

Pertanian Lahan Kering Campur mengalami penambahan luas terbesar di Kecamatan Patean yaitu 4.957,36 Ha dan mengalami penurunan luas terbesar di Kecamatan Gemuh yaitu 1.800,53 Ha. Tutupan lahan Sawah mengalami penambahan luas terbesar di Kecamatan Singorojo yaitu 1.998,46 Ha dan mengalami penurunan luas terbesar di Kecamatan Patebon yaitu 873,74 Ha. Tutupan lahan Tambak mengalami penambahan luas terbesar di Kecamatan Patebon yaitu 268,13 Ha dan mengalami penurunan luas terbesar juga di Kecamatan Patebon yaitu 3,80 Ha. Tutupan lahan Tubuh Air mengalami penambahan luas terbesar di Kecamatan Cepiring yaitu 1,84 Ha dan mengalami penurunan luas terbesar di Kecamatan Patebon yaitu 74,89 Ha.

Pembahasan perubahan jenis tutupan lahan secara detail diperlukan untuk dapat melakukan estimasi cadangan karbon pada pembahasan selanjutnya. Berikut merupakan perubahan jenis tutupan lahan dari tutupan lahan satu menjadi tutupan lainnya atau yang tidak mengalami perubahan dapat dilihat pada Tabel 5 di bawah ini.

Tabel 5. Matriks Perubahan Jenis Tutupan Lahan Kabupaten Kendal Tahun 2008-2018 (Ha) (Analisis, 2020)

| | Tutupan Lahan 2018 | | | | | | | Total (Ha) |
|-------------------------------|---------------------------|-----------------------------|------------------|-------------------------------|------------------|-----------------|---------------|-------------------|
| | Hutan Lahan Kering Primer | Hutan Lahan Kering Sekunder | Permukiman | Pertanian Lahan Kering Campur | Sawah | Tambak | Tubuh Air | |
| Hutan Lahan Kering Primer | 1.128,58 | 1.094,55 | 661,87 | 15.210,60 | 981,01 | - | - | 19.076,61 |
| Hutan Lahan Kering Sekunder | - | 2.239,47 | 2.883,43 | 12.431,13 | 2.719,19 | - | - | 20.273,22 |
| Permukiman | - | - | 2.453,25 | - | - | - | - | 2.453,25 |
| Pertanian Lahan Kering Campur | - | - | 5.724,24 | 12.001,40 | 9.757,74 | 33,53 | 6,33 | 27.523,25 |
| Sawah | - | - | 4.052,70 | 6.147,76 | 15.289,11 | 594,19 | 4,72 | 26.088,48 |
| Tambak | - | - | 49,81 | 1,04 | 8,53 | 3.810,15 | 8,83 | 3.878,37 |
| Tubuh Air | - | - | 98,13 | 1,06 | 4,43 | 175,88 | 803,48 | 1.082,99 |
| Total (Ha) | 1.128,58 | 3.334,02 | 15.923,44 | 45.793,00 | 28.760,02 | 4.613,74 | 823,36 | 100.376,16 |

Analisa Cadangan Karbon Kabupaten Kendal Tahun 2008-2018

Pada bagian pembahasan mengenai analisa cadangan karbon ini dimaksudkan untuk melakukan analisa, perkiraan atau penilaian cadangan karbon yang terdapat di Kabupaten Kendal berdasarkan jenis tutupan lahan yang telah ditentukan berdasarkan analisa sebelumnya menyesuaikan keadaan yang ada di Kabupaten Kendal. Cadangan karbon pada tahun 2008-2018 diperhitungkan berdasarkan hasil perubahan luas tutupan lahan pada tahun 2008-2018. Perhitungan yang digunakan adalah dengan mengalikan luas tutupan lahan tahun analisa dengan nilai cadangan karbon masing-masing tutupan lahan di atas permukaan tanah sesuai dengan ketentuan Pedoman Teknis Penghitungan Baseline Emisi Dan Serapan Gas Rumah Kaca Sektor Berbasis Lahan. Berikut merupakan hasil estimasi cadangan karbon pada tahun 2008-2018 (Tabel 6).

Tabel 6. Cadangan Karbon Kabupaten Kendal Tahun 2008-2018 (Ton C) (Analisis, 2020)

| Tutupan Lahan | Cadangan Karbon 2008 | Cadangan Karbon 2013 | Cadangan Karbon 2018 |
|-------------------------------|----------------------|----------------------|----------------------|
| Hutan Lahan Kering Primer | 3.719.939,10 | 581.620,47 | 220.072,95 |
| Hutan Lahan Kering Sekunder | 3.426.173,60 | 1.787.937,47 | 563.449,51 |
| Permukiman | 9.813,01 | 33.004,60 | 63.693,77 |
| Pertanian Lahan Kering Campur | 825.697,42 | 1.264.097,67 | 1.373.790,03 |
| Sawah | 52.176,96 | 61.946,59 | 57.520,04 |
| Tambak | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| Tubuh Air | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| Total | 8.033.800,09 | 3.728.606,80 | 2.278.526,29 |

Estimasi Perubahan Cadangan Karbon Kabupaten Kendal Tahun 2008-2018

Estimasi perubahan cadangan karbon akibat perubahan tutupan lahan diperhitungkan dengan menggunakan metode *stock difference*. Berikut merupakan hasil analisa cadangan karbon berdasarkan perubahan tutupan lahan di Kabupaten Kendal pada tahun 2008-2018, dapat dilihat pada Tabel 7.

Perhitungan untuk mengestimasi cadangan karbon pada periode waktu 2008-2018 adalah sebagai berikut :

$$\Delta C = (\text{Total Cadangan Karbon 2018} - \text{Total Cadangan Karbon 2008}) / \left(\frac{2018 - 2008}{10} \right)$$

$$= (2.278.526,29 - 8.033.800,09) = -5.755.273,80 \text{ ton C}$$

Total cadangan karbon pada tahun 2008 adalah sebesar 8.033.800,09 ton C, sedangkan total cadangan karbon pada tahun 2018 adalah sebesar 2.278.526,29 ton C. Pada perhitungan untuk mengestimasi cadangan karbon akibat perubahan tutupan lahan di Kabupaten Kendal dalam periode lima tahun yaitu tahun 2008-2018 diketahui bahwa hasil yang ditunjukkan adalah dengan angka -5.755.273,80 ton C. Estimasi cadangan karbon tutupan lahan selama sepuluh tahun yang ditunjukkan dengan angka tersebut

mengandung makna bahwa terjadi pelepasan karbon atau emisi karbon pada periode tahun tersebut. Hal tersebut terjadi karena tutupan lahan pada tahun 2018 memiliki total cadangan karbon yang tersimpan lebih sedikit dibandingkan dengan total cadangan karbon yang tersimpan pada tahun 2008.

Tabel 7. Perubahan Cadangan Karbon Tutupan Lahan Kabupaten Kendal Tahun 2008-2018 (Analisis, 2020)

| | | Cadangan Karbon Tutupan Lahan 2018 (Ton C) | | | | | | | |
|--|-------------------------------|--|-----------------------------|-------------|-------------------------------|-------------|-----------|-----------|---------------|
| | | Hutan Lahan Kering Primer | Hutan Lahan Kering Sekunder | Permukiman | Pertanian Lahan Kering Campur | Sawah | Tambak | Tubuh Air | Grand Total |
| Cadangan Karbon Tutupan Lahan 2008 (Ton C) | Hutan Lahan Kering Primer | 0,00 | -28.458,34 | -126.416,68 | -2.509.749,08 | -189.335,37 | 0,00 | 0,00 | -2.853.959,46 |
| | Hutan Lahan Kering Sekunder | 0,00 | 0,00 | -475.765,69 | -1.727.927,44 | -454.104,07 | 0,00 | 0,00 | -2.657.797,21 |
| | Permukiman | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| | Pertanian Lahan Kering Campur | 0,00 | 0,00 | -148.830,35 | 0,00 | -273.216,81 | -1.005,83 | -189,91 | -423.242,91 |
| | Sawah | 0,00 | 0,00 | 8.105,40 | 172.137,39 | 0,00 | -1.188,37 | -9,43 | 179.044,99 |
| | Tambak | 0,00 | 0,00 | 199,25 | 31,33 | 17,06 | 0,00 | 0,00 | 247,65 |
| | Tubuh Air | 0,00 | 0,00 | 392,54 | 31,73 | 8,87 | 0,00 | 0,00 | 433,14 |
| | Grand Total | 0,00 | -28.458,34 | -742.315,53 | -4.065.476,06 | -916.630,32 | -2.194,20 | -199,35 | |

Kedadaan ini dapat dilihat kembali pada jenis tutupan lahan yang berubah dari tutupan lahan satu menjadi tutupan lahan lainnya atau yang tidak mengalami perubahan pada tahun tersebut pada Tabel 5. Pada periode sepuluh tahun penelitian yaitu tahun 2008-2018, terlihat bahwa pada dua tahun yang berbeda tersebut estimasi cadangan karbon yang tertinggi terdapat pada tutupan lahan Hutan Lahan Kering Primer dan Hutan Lahan Kering Sekunder. Terjadi konversi lahan mengakibatkan luas Hutan Lahan Kering Primer pada tahun 2008 berkurang. Konversi tersebut menyebabkan luas tutupan lahan Pertanian Lahan Kering Campur menjadi tutupan dengan lahan terluas pada tahun 2018. Akan tetapi, nilai ketetapan cadangan karbon milik Pertanian Lahan Kering Campur sangat rendah sehingga tutupan lahan pada tahun 2018 tidak dapat melakukan penyerapan karbon sebanyak tahun 2018.

Penelitian yang telah dilakukan mengenai estimasi cadangan karbon selama jangka waktu 10 tahun memberikan bukti bahwa perubahan tutupan lahan yang mengalami konversi memberikan dampak terhadap cadangan karbon lansekap suatu wilayah. Perubahan tutupan lahan yang terjadi diakibatkan karena adanya aktivitas deforestasi dan degradasi hutan Kabupaten Kendal. Deforestasi dan degradasi hutan yang terjadi disebabkan karena faktor-faktor yang beragam dengan tujuannya antara lain adalah untuk melakukan pembangunan infrastruktur, memanfaatkan sumber daya alam untuk keperluan ekonomi, sosial dan kebutuhan tempat tinggal. Faktor-faktor perkembangan kota tersebut sangat mendorong terjadinya perubahan tutupan lahan Kabupaten Kendal hingga berdampak pada cadangan karbon tersimpan pada wilayah tersebut.

Tutupan lahan dengan cadangan karbon tinggi yang paling utama mengalami konversi yakni tutupan lahan Hutan Lahan Kering Primer dan Hutan Lahan Kering Sekunder. Hal ini sangat berdampak terhadap cadangan karbon di Kabupaten Kendal. Cadangan karbon suatu wilayah yang sebelumnya telah melatarbelakangi penelitian ini bahwa pentingnya suatu wilayah untuk melaksanakan kegiatan penyelenggaraan inventarisasi dan pemantauan terhadap emisi karbon dari sektor berbasis lahan. Hal tersebut dikarenakan sangat berkaitan terhadap permasalahan lingkungan suatu wilayah, karena perubahan tutupan lahan berpengaruh terhadap perubahan iklim dan perubahan iklim akan mempengaruhi keberlangsungan aktivitas yang ada dipermukaan bumi. Kekhawatiran akan kerusakan lingkungan hidup dan kemampuan sumber daya alam untuk memenuhi kebutuhan di masa depan telah menjadi perdebatan Komisi Dunia Lingkungan dan Pembangunan. Sehingga yang menjadi tantangan bagi

para pemangku kepentingan adalah menciptakan keseimbangan antara kebutuhan manusia dan kelestarian lingkungan (Dwiprabowo dkk., 2014).

Suatu wilayah yang memiliki kesiapan untuk pelaksanaan aksi dan mitigasi permasalahan lingkungan khususnya emisi karbon berbasis lahan dapat memberikan kontribusi ke tingkat yang lebih luas dalam skala nasional untuk mengatasi permasalahan pemanasan global. Kontribusi suatu wilayah untuk turut serta melakukan penanganan permasalahan pemanasan global sangat diperlukan untuk dunia secara luas baik secara langsung maupun tidak langsung. Perhitungan dari penelitian yang telah dilakukan di Kabupaten Kendal ini dapat dijadikan acuan dalam melakukan perumusan RTRW Kabupaten Kendal untuk membuat instrument-instrumen kebijakan dalam perencanaan regional dalam mengalokasikan penggunaan sumber daya alam, terutama mengutamakan wilayah yang memiliki tutupan lahan dengan cadangan karbon tinggi, pembatasan konversi lahan untuk mengurangi degradasi lahan sehingga berdampak pada cadangan karbon di Kabupaten Kendal. Selain pembatasan konversi lahan, kebijakan penting lainnya menyangkut usaha mempertahankan cadangan karbon Kabupaten Kendal seperti melakukan pelestarian kembali sehingga akan memiliki dampak yang besar dimasa yang akan datang. Pembangunan suatu wilayah seperti wilayah kabupaten Kendal akan terus mengalami perkembangan sehingga perlu adanya kontrol pembangunan dengan memiliki perencanaan yang matang dari berbagai aspek salah satunya aspek lingkungan. Lingkungan yang baik di suatu wilayah akan berdampak terhadap keberhasilan aktivitas yang berlangsung di wilayah tersebut.

4. KESIMPULAN

Penelitian yang telah dilakukan mengenai estimasi cadangan karbon selama jangka waktu 10 tahun memberikan bukti bahwa perubahan tutupan lahan yang mengalami konversi memberikan dampak terhadap cadangan karbon suatu wilayah. Perubahan tutupan lahan yang terjadi diakibatkan karena adanya aktivitas deforestasi dan degradasi hutan Kabupaten Kendal. Deforestasi dan degradasi hutan yang terjadi disebabkan karena faktor-faktor yang beragam dengan tujuannya antara lain adalah untuk melakukan pembangunan infrastruktur, memanfaatkan sumber daya alam untuk keperluan ekonomi, sosial dan kebutuhan tempat tinggal. Faktor-faktor perkembangan kota tersebut sangat mendorong terjadinya perubahan tutupan lahan Kabupaten Kendal hingga berdampak pada cadangan karbon tersimpan pada wilayah tersebut. Besarnya total cadangan karbon yang tersimpan pada periode tahun tertentu selain dipengaruhi oleh konversi luas tutupan lahan, juga dipengaruhi oleh nilai ketetapan cadangan karbon tiap tutupan lahan. Tutupan lahan yang memiliki luas tertinggi belum tentu akan memiliki cadangan karbon yang banyak dikarenakan nilai cadangan karbon tutupan lahan tersebut kecil. Seperti pada hasil penelitian diatas, pada tahun 2018 tutupan lahan Pertanian Lahan Kering Campur memiliki luas tertinggi dibandingkan dengan tutupan lahan lainnya yaitu 45.793,00 Ha. Akan tetapi, pada tahun 2018 Kabupaten Kendal memiliki cadangan karbon lebih rendah dibandingkan dengan tahun sebelumnya. Hal ini dikarenakan tutupan lahan Pertanian Lahan Kering Campur hanya memiliki ketetapan cadangan karbon sebesar 30 ton C/Ha. Dimana ketetapan cadangan karbon tertinggi dimiliki oleh tutupan lahan Hutan Lahan Kering Primer dan Hutan Lahan Kering Sekunder yang keduanya merupakan tutupan lahan yang paling luas mengalami konversi menjadi tutupan lahan lainnya.

5. REFERENSI

- Anderson, T. R., Hawkins, E. and Jones, P. D. (2016) 'CO₂, the greenhouse effect and global warming : from the pioneering work of Arrhenius and Callendar to today ' s Earth System Models', Endeavour. The Authors, 40(3), pp. 178–187. doi: 10.1016/j.endeavour.2016.07.002.
- Boer, R. et al. (2012) Pedoman Penyelenggaraan Inventarisasi Gas Rumah Kaca Nasional. Jakarta: Kementerian Lingkungan Hidup.
- Direktorat Inventarisasi dan Pemantauan Sumber Daya Hutan (2015). Buku Kegiatan Serapan dan Emisi Karbon. Direktorat Jenderal Planologi Kehutanan dan Tata Lingkungan, Kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan.
- Dwiprabowo, H. et al. (2014) Dinamika Tutupan Lahan: Pengaruh Faktor Sosial Ekonomi. Yogyakarta: PT Kanisius.
- IPCC (2007) Climate Change: The Scientific Basis. Cambridge.
- Sadewo, M. N. and Buchori, I. (2018) 'Simulasi Perubahan Penggunaan Lahan Akibat Pembangunan

Kawasan Industri Kendal (KIK) Berbasis Cellular Automata', *Majalah Geografi Indonesia*, 32(2), pp. 142–154. doi: 10.22146/mgi.33755.

Septiofani, R. O., Subiyanto, S. and Sukmono, A. (2016) 'Analisis Perubahan Luas Lahan Sawah di Kabupaten Kendal Menggunakan Citra Resolusi Tinggi', *Jurnal Geodesi Undip*, 5(1), pp. 98–106.

Setiawan, G., Syaufina, L. and Puspaningsih, N. (2015) 'Estimation of Carbon Stock Loss from Land Use Changes in Bogor Regency', *Journal of Natural Resources and Environmental Management*, 5(2), pp. 141–147. doi: 10.19081/jpsl.5.2.141.

Setiawan, W. (2014) Ratusan Hektare Lahan di Kendal Kritis. Kabupaten Kendal. doi: SindoNews.Com.

Sugiyono (2010) *Metode Penelitian Kuantitatif, Kualitatif dan R&D*. Bandung: Alfabeta.

Wibowo, A. et al. (2013) *Petunjuk Praktis Menghitung Cadangan Karbon Hutan*. Bogor: Pusat Penelitian dan Pengembangan Perubahan Iklim dan Kebijakan. Available at: <https://www.researchgate.net/publication/317656622%0APetunjuk>.