



Estimasi Emisi Karbon Hutan Gambut Indonesia berdasarkan Citra Soil Moisture Active Passive Satellite (SMAP)

Estimation of Indonesian Peat Forest Carbon Emissions based on Soil Moisture Active Passive (SMAP) Satellite Image

Awaluddin dan Albertus Sulaiman*

Pusat Teknologi Pengembangan Sumberdaya Wilayah BPPT Kawasan Puspipstek Serpong, Tangerang, Indonesia

ARTICLE INFO

Article history:

Received 24 October 2018

Received in revised form 14 February 2019

Accepted 24 April 2019

doi: 10.29244/j.agromet.33.1.1-7

Keywords:

Carbon emission

Peatland

Soil moisture

Water table

ABSTRACT

Calculation of carbon emission in tropical peatland forest still unsolved problem. In this paper, we propose a method to calculate carbon emission by using Soil Moisture Active Passive (SMAP) satellite. The SMAP images on January 2018 enhanced 1.3 radiometer Global Daily 9 km, EASE grid overlaid with peat map. The water table mapping obtained by using empirical relation between soil moisture and water table in January 2018 shows a pattern according to some observation. The carbon emission map on January 2018 shows the average is about 280 gC km⁻².

PENDAHULUAN

Dalam dua dasawarsa terakhir terjadi perubahan tutupan lahan dari hutan lahan gambut menjadi perkebunan dan pertanian (Afriyanti et al., 2016; Hergoualc'h dan Verchot, 2014; Miettinen et al., 2016; Warren et al., 2017) dimana perubahan tutupan lahan ini mengemisikan karbon yang tersimpan di hutan gambut (Henders et al., 2015; Turetsky et al., 2015). Interpretasi secara visual dengan menggunakan citra satelit pada tahun 2009 menunjukkan bahwa untuk wilayah Sumatra dan Kalimantan hanya sekitar 4% saja wilayah gambut yang berupa *pristine peatswamp forests* (PSFs), 37% PSFs telah terdegradasi, 20% berupa permukaan terbuka yang terdegradasi dan tak dikelola (Miettinen dan Liew, 2010). Estimasi emisi karbon berdasarkan jumlah dari stok karbon dikalikan dengan faktor emisi di Kalimantan dalam satu dasawarsa terakhir menunjukkan lebih dari 15 Mha hutan yang terdegradasi dengan total emisi karbon sebesar 1.1 PgC (Ferraz et al., 2018). Dilain pihak, perhitungan emisi karbon dari suatu lahan gambut secara langsung (*insitu*) dilakukan dengan menggunakan *chamber* dan

instrumen *eddy covariance*. Dari hasil pengukuran *insitu* tersebut diperoleh hasil yang sangat penting yaitu terdapat kaitan yang erat antara penurunan tinggi muka air (TMA), respirasi tanah dan *subsident* lahan gambut dengan emisi karbon (Grzywna, 2017; Hirano et al., 2012; Husnain et al., 2014; Mezbahuddin et al., 2014). Penurunan TMA sekitar 0.1 m per tahun akan berkorelasi dengan emisi karbon sebesar 89 gC per meter persegi per tahun. Lebih lanjut, penelitian lain menunjukkan bahwa pada saat TMA turun hingga 70 cm maka emisi karbon yang dihasilkan sebesar 20 tC per hektar per tahun di wilayah gambut yang sudah menjadi perkebunan (Carlson et al., 2015).

Perhitungan emisi dengan menggunakan citra satelit telah banyak dilakukan (Heymann et al., 2017; Konovalov et al., 2014; Lohberger et al., 2018), terutama terkait dengan kebakaran hutan dan lahan. Penelitian dengan menggunakan citra *Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer* (MODIS) menunjukkan bahwa emisi karbon sebesar 61 Tg per tahun yang diemisikan oleh kebakaran hutan dan lahan di Asia dari tahun 2000 sampai 2009 (Song et al., 2010).

*Corresponding author. albertus.sulaiman@bppt.go.id

Peningkatan emisi karbon akan meningkat pada musim kemarau terutama akibat dari kebakaran lahan (Hirano et al., 2014; Huijnen et al., 2016; Konecny et al., 2016; Yin et al., 2016). Suatu eksperimen menggunakan *atmospheric general circulation model ensemble* menunjukkan bahwa efek emisi karbon akibat kebakaran di Sumatra akan menurunkan presipitasi sekitar 25% dari kondisi kering antara rentang masa 1951-2000 ke rentang masa 2001-2050 (Lestari et al., 2014). Kondisi kering dari suatu lahan gambut akan meningkatkan *Net Ecosystem Exchange* (NEE) dimana intensitas emisi akan ditentukan oleh lama dan tingkat kekeringan di lahan gambut (Lund et al., 2012; Osaki dan Tsuji, 2016). Tingkat kekeringan dinyatakan dalam parameter kandungan air atau kelembaban tanah (*soil moisture*). Jadi dengan informasi kelembaban tanah, dapat digunakan untuk memperkirakan intensitas emisi karbon di suatu lahan gambut. Dalam penelitian ini emisi karbon dari lahan gambut akan dihitung berdasarkan parameter kelembaban gambut. Data kelembaban gambut diperoleh dengan menggunakan citra *Soil Moisture Active Passive Satellite* (SMAP) (Chan et al., 2016; McNairn et al., 2014). Penelitian ini belum dilakukan secara komprehensif tetapi bertujuan mendemonstrasikan perhitungan emisi karbon berdasarkan citra SMAP untuk wilayah gambut seluruh Indonesia.

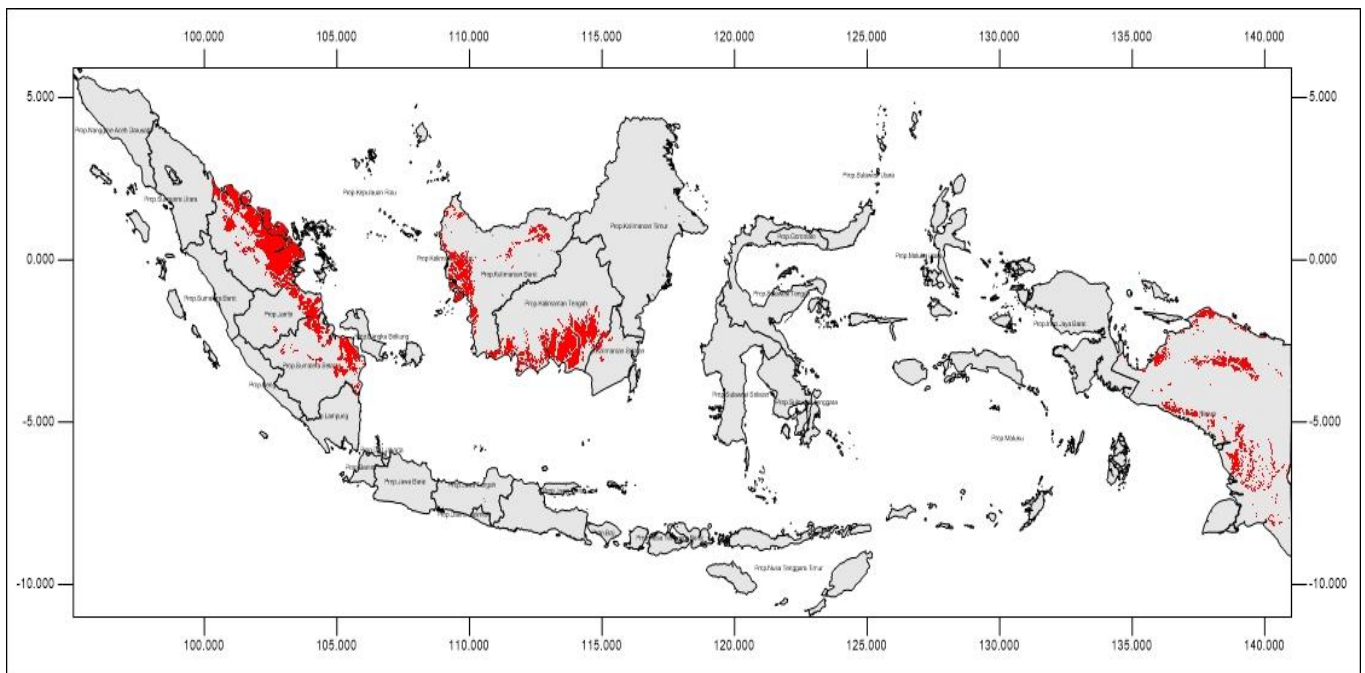
METODE PENELITIAN

Data Penelitian

Data penelitian ini diambil dari citra SMAP berupa citra kelembaban tanah dari permukaan sampai kedalaman 5cm dengan format *geotiff*. Tipe data yang digunakan adalah *SMAP Enhanced L3 Radiometer Global Daily 9km EASE Grid Soil Moisture V001* dengan batas wilayah Utara 6.46875, Selatan -11.671875, Timur 142.453125 dan Barat 93.515625 serta proyeksi adalah Geographic. Resolusi tersebut dapat di-*downscale* menjadi resolusi 3km dengan menggunakan skema *enhanced-resolution SMAP TB products on both 3 km SMAP project grids* (Long et al., 2017).

Pengolahan Data

Hasil citra SMAP akan ditumpang-susunkan (*overlay*) dengan peta gambut di Indonesia (lihat Gambar 1) untuk mendapatkan peta kelembaban lahan gambut di lahan gambut. Kondisi lahan gambut dibagi menjadi tiga kriteria yaitu *Undrained (intact) forest* (UF), *Drained (degraded) forest* (DF) dan *Burned land or non-forest area* (DB) (Hamada et al., 2016). UF adalah lahan gambut yang masih asli, DF adalah gambut sudah mengalami perubahan tutupan lahan) dan DB adalah lahan gambut yang sudah terbakar.



Gambar 1 Peta wilayah gambut di Indonesia dimana warna merah menyatakan lahan gambut (sumber: webgis Kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan).

Dalam makalah ini kita menggunakan rumus empirik yang telah dikembangkan oleh Hamada et al., (2016). Rumus empirik yang diperoleh di Kalimantan dengan antara TMA dengan kelembaban tanah dengan

deret waktu delapan tahun. Relasi empirik tersebut dinyatakan pada Persamaan (1-3) (Hamada et al., 2016).

$$y_{UF} = 4.89x - 1.63 \tag{1}$$

$$y_{DF} = 4.85x - 1.97 \tag{2}$$

$$y_{DB} = 2.97x - 096 \tag{3}$$

dimana y_{UF} adalah TMA untuk tipe UF, y_{DF} adalah TMA untuk tipe DF dan y_{DB} adalah TMA untuk tipe BD, x adalah kelembaban gambut, koefisien korelasi tiap persamaan adalah 0.67, 0.65, dan 0.95. Dengan mengasumsikan relasi ini berlaku diseluruh lahan gambut di Indonesia maka akan diperoleh peta TMA. Emisi karbon yang dinyatakan dalam *Net Ecosystem Exchange* dihitung berdasarkan relasi empirik antara NEE yang diukur dengan instrumen *eddy covariance* selama lebih dari 8 tahun di Kalimantan Tengah dengan parameter TMA di tempat yang sama. Diperoleh relasi antara NEE dengan TMA yang disajikan pada Persamaan (4-5) (Hirano et al., 2012).

$$y_{UF/DF} = -665y - 68.74 \quad (4)$$

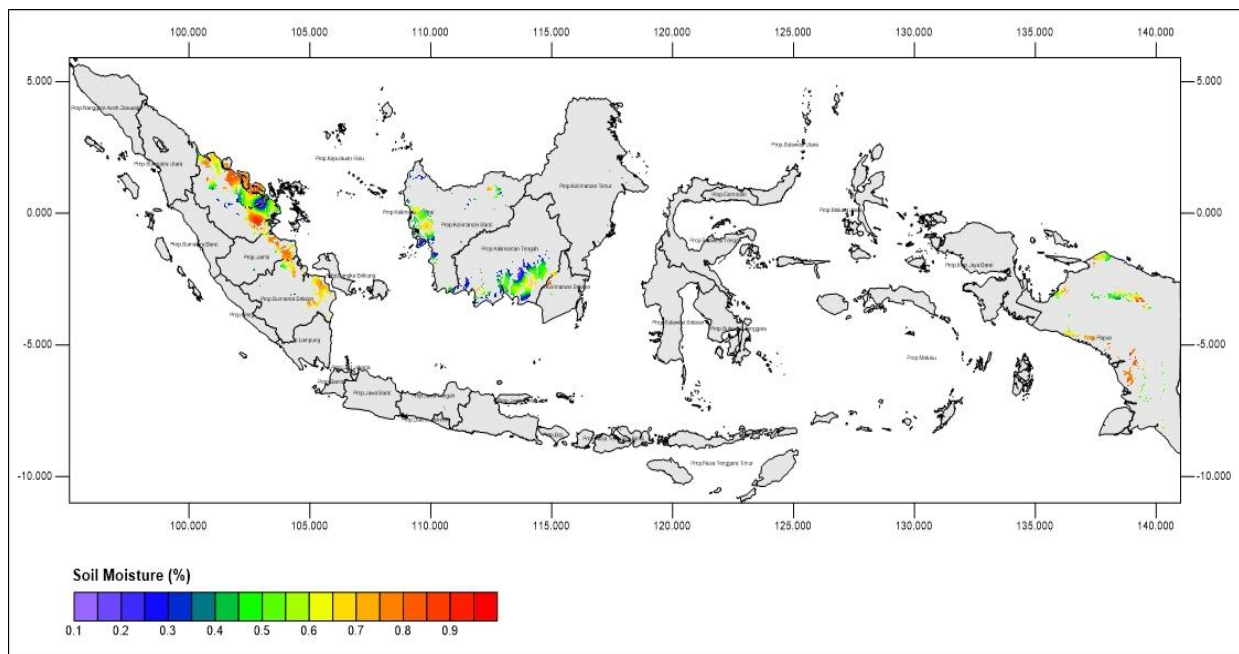
$$y_{DB} = -420.56y + 397.46 \quad (5)$$

Dari relasi empirik ini maka peta emisi dari lahan gambut diseluruh Indonesia diperoleh. Emisi ini adalah

emisi yang diakibatkan oleh dekomposisi material pembentuk lahan gambut dan bukan dari pohon yang berada di atas lahan gambut.

HASIL DAN PEMBAHASAN

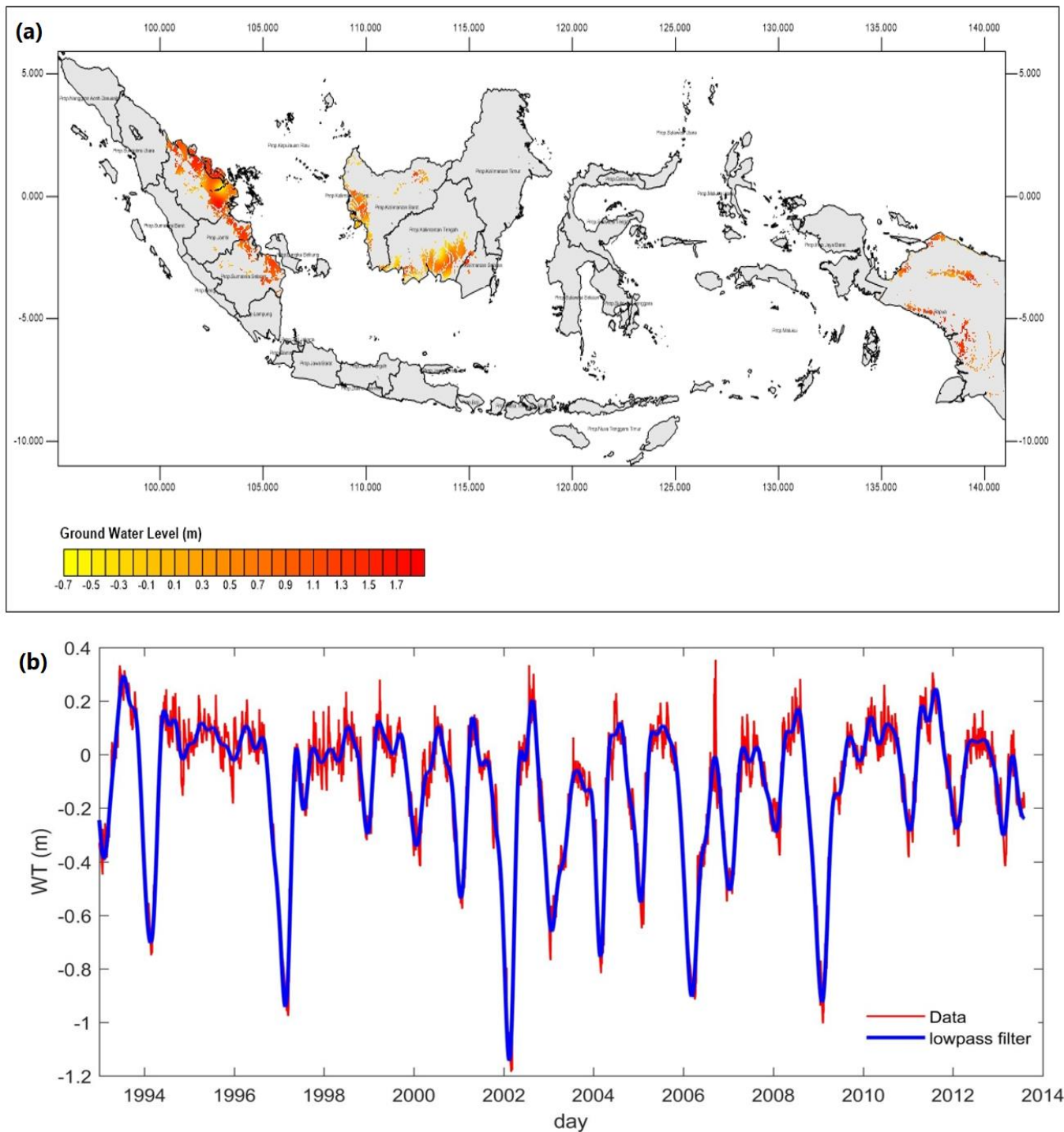
Data soil moisture SMAP *Enhanced L3 Radiometer Global Daily 9 km EASE Grid* dan setelah dilakukan tumpang susun dengan peta lahan gambut akan diperoleh peta kelembaban gambut yang disajikan pada Gambar 2. Pegambilan citra dilakukan pada bulan Januari 2018 yaitu mewakili musim hujan. Peta kelembaban gambut komposit bulan Januari menunjukkan bahwa wilayah gambut yang dekat dengan pantai mempunyai nilai kelembaban gambut yang tinggi, yaitu di Sumatra Selatan, Jambi dan Riau. Beberapa wilayah di Riau mempunyai nilai kelembaban gambut yang rendah yaitu berada di wilayah kabupaten Siak dan Pekanbaru.



Gambar 2 Peta komposit dari citra SMAP untuk parameter kelembaban tanah pada lahan gambut bulan Januari 2018

Wilayah Kalimantan secara umum mempunyai nilai kelembaban gambut kategori sedang-rendah, sedangkan kelembaban lahan gambut di wilayah Papua umumnya cukup tinggi. Dengan menggunakan Persamaan (1-3) maka diperoleh peta TMA yang disajikan pada Gambar 3a. Terlihat bahwa beberapa daerah yang kelembaban gambut tinggi akan terkait dengan daerah dengan TMA kecil (tinggi muka air sangat dekat dengan permukaan gambut). Beberapa daerah menunjukkan nilai positif yang menyatakan daerah tersebut terjadi genangan (*flood*). Wilayah Sumatra Selatan dan Jambi serta sebagian Riau umum tergenang.

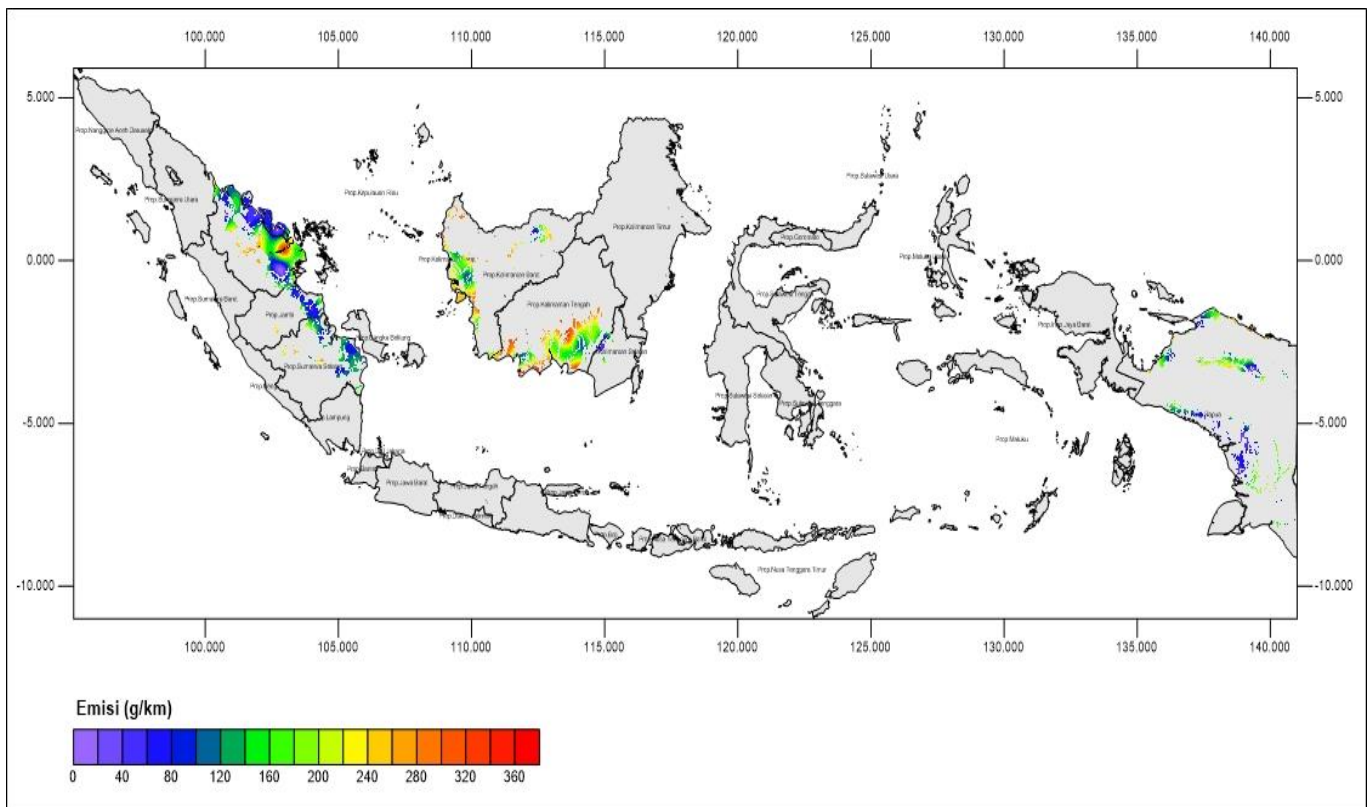
Hasil ini juga di konfirmasi oleh penelitian Putra et al. (2018) dimana di wilayah Ogan Komerling Ilir pada bulan Januari secara umum dalam kondisi tergenang. Untuk wilayah Kalimantan Tengah meskipun kelembaban gambut menunjukkan nilai moderat tetapi TMA menunjukkan kondisi tergenang terutama di wilayah eks *Mega Rice Project* (MRP). Wilayah ini bertipe DB sehingga sangat rentan terhadap kekeringan dan genangan. Dari data TMA secara tahunan menunjukkan wilayah MRP tergenang pada bulan Januari sampai April (Putra et al., 2018).



Gambar 3 (a) Peta tinggi muka air lahan gambut komposit dari citra SMAP pada bulan Januari 2018. (b) Deret waktu tinggi muka air lahan gambut di Taman Nasional Sebangau, Kalimantan Tengah tahun 1994-2004.

Karena keterbatasan data TMA secara spasial, maka dilakukan perbandingan untuk wilayah Taman Nasional Sebangau. Data deret waktu TMA dari tahun 1993 sampai 2014 menunjukkan bahwa nilai TMA secara umum akan positif di awal tahun (lihat Gambar 3b) dan negatif di pertengahan tahun. Hal ini beresesuaian dengan kondisi monsoon. TMA turun drastis pada saat kondisi ENSO kuat yaitu pada tahun 1997 dan 2002. Dengan menggunakan Persamaan (4-5), estimasi emisi karbon lahan gambut dapat diperoleh

seperti yang disajikan dalam Gambar 4. Terlihat bahwa emisi karbon secara umum beresesuaian dengan tingkat TMA. Emisi tinggi di wilayah dengan TMA yang negatif. Nilai emisi masih dapat diperdebatkan karena hanya menghitung dekomposisi gambut akibat turunnya muka air. Tentu saja penurunan muka air tidak langsung serta merta mengemisikan karbon, perlu waktu bagi gambut untuk melakukan dekomposisi sehingga mampu mengemisikan gas karbon. Persoalan ini masih merupakan buku terbuka.



Gambar 4 Peta emisi karbon lahan gambut komposit dari citra SMAP pada bulan Januari 2018. Satuan dinyatakan dalam gram karbon per kilometer persegi

KESIMPULAN

Makalah ini bertujuan mendemonstrasikan pengembangan peta emisi karbon dari lahan gambut Indonesia yang diperoleh dari citra SMAP dengan resolusi 3km x 3km berdasarkan model Hirano. Peta tinggi muka air yang diperoleh dari relasi empirik antara tinggi muka air dan kelembaban gambut pada bulan Januari 2018 menunjukkan pola yang sesuai dengan beberapa pengamatan. Secara umum rata rata bulan Januari 2018 emisi karbon yang terjadi sebesar 280 gC per kilometer persegi.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis berterima kasih atas diskusi yang sangat intensif dengan M. Osaki Hokkaido University, H. Takahashi Hydrological Research Institute, Sapporo dan K. Kimura Nara University. Penelitian ini di Danai oleh Badan Restorasi Gambut untuk tahun anggaran 2017.

DAFTAR PUSTAKA

Afriyanti, D., Kroeze, C., Saad, A., 2016. Indonesia palm oil production without deforestation and peat conversion by 2050. *Science of The Total Environment* 557–558, 562–570. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2016.03.032>

Carlson, K.M., Goodman, L.K., May-Tobin, C.C., 2015. Modeling relationships between water table depth and peat soil carbon loss in Southeast Asian plantations. *Environmental Research Letters* 10, 074006.

Chan, S.K., Bindlish, R., O’Neill, P.E., Njoku, E., Jackson, T., Colliander, A., Chen, F., Burgin, M., Dunbar, S., Piepmeier, J., 2016. Assessment of the SMAP passive soil moisture product. *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing* 54, 4994–5007.

Ferraz, A., Saatchi, S., Xu, L., Hagen, S., Chave, J., Yu, Y., Meyer, V., Garcia, M., Silva, C., Roswintart, O., Samboko, A., Plinio, S., Walker, S., Pearson, T., Wijaya, A., Sullivan, F., Rutishauser, E., Hoekman, D., Ganguly, S., 2018. Carbon storage potential in degraded forests of Kalimantan, Indonesia. *Environmental Research Letters* 13, 095001.

Grzywna, A., 2017. The degree of peatland subsidence resulting from drainage of land. *Environmental Earth Sciences* 76, 559.

Hamada, Y., Tsuji, N., Kojima, Y., Qorim, M., Sulaiman, A., Firmanto, Jagau, Y., Irawan, D., Naito, R., Sari, E., 2016. Guidebook for Estimating Carbon Emissions from Tropical Peatlands in Indonesia.

Henders, S., Persson, U.M., Kastner, T., 2015. Trading forests: land-use change and carbon emissions embodied in production and exports of forest-

- risk commodities. *Environmental Research Letters* 10, 125012.
- Hergoualc'h, K., Verchot, L.V., 2014. Greenhouse gas emission factors for land use and land-use change in Southeast Asian peatlands. *Mitigation and Adaptation Strategies for Global Change* 19, 789–807.
- Heymann, J., Reuter, M., Buchwitz, M., Schneising, O., Bovensmann, H., Burrows, J., Massart, S., Kaiser, J., Crisp, D., 2017. CO₂ emission of Indonesian fires in 2015 estimated from satellite-derived atmospheric CO₂ concentrations. *Geophysical Research Letters* 44, 1537–1544.
- Hirano, T., Kusin, K., Limin, S., Osaki, M., 2014. Carbon dioxide emissions through oxidative peat decomposition on a burnt tropical peatland. *Global Change Biology* 20, 555–565. <https://doi.org/10.1111/gcb.12296>
- Hirano, T., Segah, H., Kusin, K., Limin, S., Takahashi, H., Osaki, M., 2012. Effects of disturbances on the carbon balance of tropical peat swamp forests. *Global Change Biology* 18, 3410–3422. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2486.2012.02793.x>
- Huijnen, V., Wooster, M.J., Kaiser, J.W., Gaveau, D.L.A., Flemming, J., Parrington, M., Inness, A., Murdiyarso, D., Main, B., van Weele, M., 2016. Fire carbon emissions over maritime southeast Asia in 2015 largest since 1997. *Scientific Reports* 6, 26886.
- Husnain, H., Wigena, I.P., Dariah, A., Marwanto, S., Setyanto, P., Agus, F., 2014. CO₂ emissions from tropical drained peat in Sumatra, Indonesia. *Mitigation and adaptation strategies for global change* 19, 845–862.
- Konecny, K., Ballhorn, U., Navratil, P., Jubanski, J., Page, S.E., Tansey, K., Hooijer, A., Vernimmen, R., Siegert, F., 2016. Variable carbon losses from recurrent fires in drained tropical peatlands. *Glob Change Biol* 22, 1469–1480. <https://doi.org/10.1111/gcb.13186>
- Konovalov, I., Berezin, E., Ciais, P., Broquet, G., Beekmann, M., Hadji-Lazaro, J., Clerbaux, C., Andreae, M., Kaiser, J., Schulze, E.D., 2014. Constraining CO₂ emissions from open biomass burning by satellite observations of co-emitted species: a method and its application to wildfires in Siberia. *Atmospheric Chemistry and Physics* 14, 10383–10410.
- Lestari, R.K., Watanabe, M., Imada, Y., Shiogama, H., Field, R.D., Toshihiko Takemura, Kimoto, M., 2014. Increasing potential of biomass burning over Sumatra, Indonesia induced by anthropogenic tropical warming. *Environmental Research Letters* 9, 104010.
- Lohberger, S., Stängel, M., Atwood, E.C., Siegert, F., 2018. Spatial evaluation of Indonesia's 2015 fire-affected area and estimated carbon emissions using Sentinel-1. *Global change biology* 24, 644–654.
- Long, D.G., Brodzik, M.J., Hardman, M., 2017. Enhanced-resolution SMAP soil moisture using image reconstruction, in: 2017 IEEE International Geoscience and Remote Sensing Symposium (IGARSS). Presented at the 2017 IEEE International Geoscience and Remote Sensing Symposium (IGARSS), pp. 2499–2502. <https://doi.org/10.1109/IGARSS.2017.8127502>
- Lund, M., Christensen, T.R., Lindroth, A., Schubert, P., 2012. Effects of drought conditions on the carbon dioxide dynamics in a temperate peatland. *Environmental Research Letters* 7, 045704.
- McNairn, H., Jackson, T.J., Wiseman, G., Belair, S., Berg, A., Bullock, P., Colliander, A., Cosh, M.H., Kim, S.-B., Magagi, R., 2014. The soil moisture active passive validation experiment 2012 (SMAPVEX12): Prelaunch calibration and validation of the SMAP soil moisture algorithms. *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing* 53, 2784–2801.
- Mezbahuddin, M., Grant, R., Hirano, T., 2014. Modelling effects of seasonal variation in water table depth on net ecosystem CO₂ exchange of a tropical peatland. *Biogeosciences* 11, 577–599.
- Miettinen, J., Liew, S.C., 2010. Status of Peatland Degradation and Development in Sumatra and Kalimantan. *AMBIO* 39, 394–401. <https://doi.org/10.1007/s13280-010-0051-2>
- Miettinen, J., Shi, C., Liew, S.C., 2016. Land cover distribution in the peatlands of Peninsular Malaysia, Sumatra and Borneo in 2015 with changes since 1990. *Global Ecology and Conservation* 6, 67–78. <https://doi.org/10.1016/j.gecco.2016.02.004>
- Osaki, M., Tsuji, N., 2016. *Tropical Peatland Ecosystem*. Springer-Vwerlag, Berlin, Germany.
- Putra, E., Cochrane, M., Vetritya, Y., Graham, L., Saharjo, B., 2018. Determining critical groundwater level to prevent degraded peatland from severe peat fire. *IOP Conference Series: earth and Environmental Science* 149, 012027. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/149/1/012027>
- Song, Y., Chang, D., Liu, B., Miao, W., Zhu, L., Zhang, Y., 2010. A new emission inventory for nonagricultural open fires in Asia from 2000 to

2009. *Environmental Research Letters* 5, 014014.
- Turetsky, M.R., Benscoter, B., Page, S.E., Rein, G., Van der Werf, G.R., Watts, A., 2015. Global vulnerability of peatlands to fire and carbon loss. *Nature Geoscience* 8, 11–14. <https://doi.org/10.1038/ngeo2325>
- Warren, M., Hergoualc'h, K., Kauffman, J.B., Murdiyarso, D., Kolka, R., 2017. An appraisal of Indonesia's immense peat carbon stock using national peatland maps: uncertainties and potential losses from conversion. *Carbon balance and management* 12, 12.
- Yin, Y., Ciais, P., Chevallier, F., Van der Werf, G.R., Fanin, T., Broquet, G., Boesch, H., Cozic, A., Hauglustaine, D., Szopa, S., 2016. Variability of fire carbon emissions in equatorial Asia and its nonlinear sensitivity to El Niño. *Geophysical Research Letters* 43, 10–472.