

Fluktuasi Muka Air Tanah Lahan Pertanian Skala Kecil di Desa Penerima Program Restorasi Gambut Kabupaten Kubu Raya, Kalimantan Barat

Evi Gusmayanti^{1,4*}, Rossie W. Nusantara^{2,4}, dan Jajat Sudrajat^{3,4}

¹Program Studi Agroteknologi, Fakultas Pertanian, Universitas Tanjungpura; e-mail: evi.gusmayanti@faperta.untan.ac.id

²Program Studi Ilmu Tanah, Fakultas Pertanian, Universitas Tanjungpura

³Program Studi Agribisnis, Fakultas Pertanian, Universitas Tanjungpura

⁴Program Studi Magister Ilmu Lingkungan, Program Pascasarjana, Universitas Tanjungpura

ABSTRAK

Muka air tanah merupakan salah satu indikator penting degradasi lahan gambut. Sesuai aturan pemerintah, pemanfaatan lahan gambut yang memiliki fungsi budidaya disyaratkan untuk menjaga muka air tanah maksimal 40 cm di bawah permukaan tanah. Dalam upaya untuk mengendalikan degradasi gambut, pemerintah melakukan program restorasi gambut yang salah satunya bertujuan untuk pembasahan gambut dengan membangun sekat-sekat kanal pada lokasi prioritas, termasuk di Kabupaten Kubu Raya. Penelitian ini bertujuan melakukan pengukuran muka air tanah di dua lahan pertanian skala kecil milik masyarakat di Desa Madusari, Kecamatan Sungai Raya, Kabupaten Kubu Raya, Provinsi Kalimantan Barat. Desa ini merupakan salah satu desa penerima program restorasi gambut berupa pembangunan sekat kanal. Terdapat dua plot pengukuran yang memiliki tipe sekat kanal yang berbeda, yaitu sekat kanal yang dibangun Dinas Pekerjaan Umum dan sekat kanal yang dibangun Badan Restorasi Gambut. Masing-masing plot terdiri dari enam titik pengukuran muka air tanah, yang mulai diukur sejak bulan Februari sampai Mei 2022. Muka air tanah diukur melalui sumur pantau (piezometer) yang terbuat dari pipa PVC berdiameter sebesar 5 cm yang dibenamkan ke dalam tanah. Selain muka air tanah, sifat fisik gambut yang diukur dalam kegiatan penelitian ini meliputi kedalaman gambut, bobot isi, berat jenis partikel, porositas, permeabilitas serta kadar air gravimetrik dan volumetrik. Data curah hujan diperoleh dari stasiun BMKG terdekat, yaitu Stasiun Supadio, Pontianak. Hasil penelitian menunjukkan muka air tanah di sekitar sekat kanal bervariasi berdasarkan lokasi terhadap sekat kanal dan jarak dari kanal. Sampai jarak tertentu, sekat kanal dapat meningkatkan muka air tanah sehingga terbukti efektif dalam program pembasahan gambut.

Kata kunci: gambut, lahan pertanian skala kecil, piezometer, muka air tanah, sekat kanal

ABSTRACT

The groundwater level is one of the major indicators of peat degradation. The Indonesian government has demanded to maintain the peat groundwater level to a maximum of 40 cm below the peat surface for peat which has a cultivation function. The National Peat Restoration Agency has established a number of canal blocks in some priority areas as an attempt to control peat degradation. One of those areas is located in Madusari Village, Sungai Raya district, Kubu Raya, West Kalimantan. In this study, we aimed to observe the fluctuation of the groundwater table in small-scale agricultural land as an impact of canal blocking established around the area. We deployed 12 piezometers made from evaporated PVC (diameter 5 cm) at two locations. In each location, we installed three piezometers upstream and downstream of the canal block. The measurement has commenced from February to May 2022. In addition to the groundwater table, we also measured selected physical peat properties such as peat depth, bulk density, particle density, porosity, permeability, gravimetric, and volumetric water content. We also collected rainfall data from a nearby weather station, Supadio Meteorological Station. This study shows the variation of the groundwater table around the canal block according to location (upstream/downstream) and distance from the canal. To some extent, canal blocks seem effectively increase groundwater tables and contribute to the peat rewetting program.

Keywords: canal block, groundwater table, peatland, piezometer, small-scale agriculture

Citation: Gusmayanti, E., Nusantara R.W., dan Sudrajat, J. (2024). Fluktuasi Muka Air Tanah Lahan Pertanian Skala Kecil di Desa Penerima Program Restorasi Gambut Kabupaten Kubu Raya, Kalimantan Barat. *Jurnal Ilmu Lingkungan*, 22(1), 20-27, doi:10.14710/jil.22.1.20-27.

1. Latar Belakang

Indonesia diperkirakan memiliki lahan gambut seluas 13,43 juta hektar yang tersebar di empat pulau besar (Anda et al. 2021). Sebagian besar lahan gambut ini telah mengalami degradasi. Sampai dengan tahun 2015 dilaporkan bahwa di Sumatera dan Kalimantan hanya tersisa 6-7% hutan rawa gambut primer (Miettinen et al., 2016).

Pemanfaatan lahan gambut untuk aktivitas manusia selalu disertai dengan pembuatan saluran drainase yang bertujuan untuk menurunkan muka air tanah gambut. Keberadaan saluran drainase berdampak pada degradasi lahan gambut yang ditunjukkan oleh perubahan sifat-sifat gambut, baik sifat fisik, kimia maupun biologinya. Lahan gambut yang terdrainase akan mudah terbakar. Hampir setiap tahun lahan gambut di Sumatera dan Kalimantan mengalami kebakaran yang dampaknya meluas hingga ke negara tetangga. Pada kebakaran hutan dan lahan gambut tahun 2015 diperkirakan terjadi emisi sebesar 670 hingga 962 Tg CO₂ (Huijnen et al. 2016; Kiely et al. 2021). Selain dari kebakaran biomassa gambut, kondisi lahan gambut yang mengalami drainase merupakan sumber emisi karbon yang dihasilkan melalui proses dekomposisi bahan organik gambut (Ishikura et al. 2017, 2018; Hoyos-Santillan et al. 2019; Gusmayanti et al. 2019)

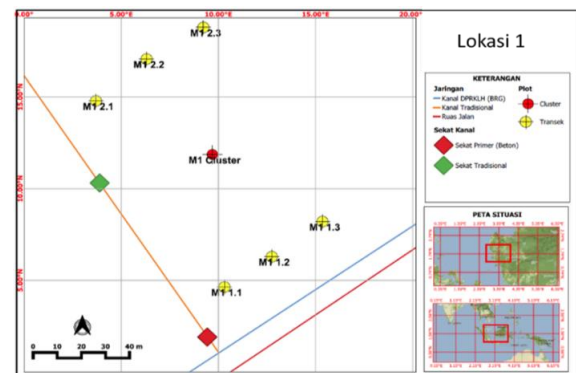
Besarnya emisi yang dihasilkan lahan gambut yang terdegradasi terutama bila mengalami kebakaran menjadi alasan utama berdirinya Badan Restorasi Gambut (sekarang Badan Restorasi Gambut dan Mangrove, BRGM). Salah satu program restorasi gambut ini adalah restorasi hidrologi yang diwujudkan dalam bentuk pembuatan sekat kanal di daerah-daerah prioritas. Tujuan utama restorasi hidrologi ini adalah untuk pembasahan kembali lahan gambut dengan harapan muka air tanah dapat memenuhi aturan yaitu maksimal 40 cm di bawah permukaan tanah (PP No. 57 tahun 2016). Bila muka air tanah dijaga pada kisaran tersebut potensi terjadinya emisi karbon yang berasal dari kebakaran dan dekomposisi bahan organik gambut dapat diminimumkan.

Provinsi Kalimantan Barat merupakan salah satu provinsi yang ditetapkan sebagai provinsi prioritas restorasi gambut. Sejak tahun 2018 hingga 2021 telah dilakukan pembangunan sekat kanal di berbagai tempat. Salah satu desa yang memperoleh program pembangunan sekat kanal dari BRG adalah Desa Madu Sari yang berada di Kecamatan Sungai Raya, Kabupaten Kubu Raya. Meskipun sekat kanal telah dibuat sejak tahun 2018, belum ada kajian tentang kondisi muka air tanah di lokasi ini, terutama lokasi lahan pertanian milik masyarakat. Penelitian ini bertujuan melakukan pengukuran terhadap muka air tanah mingguan di lahan pertanian milik masyarakat yang berada di sekitar sekat kanal agar diperoleh gambaran tentang fluktuasi muka air tanah yang terjadi di sekitar sekat kanal tersebut.

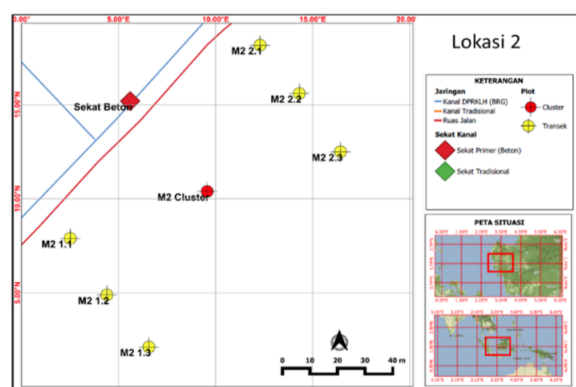
2. Metode

2.1. Waktu dan Lokasi Penelitian

Penelitian dilaksanakan pada bulan Februari – Mei 2022 di Desa Madusari, Kecamatan Sungai Raya, Kabupaten Kubu Raya, Provinsi Kalimantan Barat. Desa Madusari merupakan salah satu Desa Peduli Gambut yang memperoleh program restorasi gambut berupa pembangunan sekat kanal. Terdapat dua lokasi pengukuran yang masing-masing terdiri dari dua transek di sekitar sekat kanal (Gambar 1 dan Gambar 2). Lokasi 1 merupakan lahan milik kelompok tani binaan Badan Restorasi Gambut yang memperoleh bantuan melalui skema Program Revitalisasi (R3). Lahan ini ditanami semangka (transek 1), jahe dan terung (transek 2). Pada lokasi 1 terdapat sekat kanal dari beton yang dibangun oleh Dinas Pekerjaan Umum, dan sekitar 100 m di arah hulu sekat tersebut terdapat sekat semi permanen yang terbuat kayu. Lebar kanal yang terdapat sekat dan berada di lahan sekitar 60 – 80 cm, sedangkan kanal utama yang tegak lurus terhadap kanal yang diberi sekat memiliki lebar sekitar 2 m. Lokasi 2 merupakan lahan yang baru ditanami jagung, dan di sekitarnya merupakan kebun karet. Pada lokasi 2 terdapat kanal yang lebarnya sekitar 1,5 m dan sekat beton yang dibangun oleh Badan Restorasi Gambut tahun 2018. Sekat ini terdapat di antara transek 1 dan transek 2.



Gambar 1. Plot Pengukuran di Lokasi 1 Desa Madusari, Kecamatan Sungai Raya, Kabupaten Kubu Raya, Kalimantan Barat



Gambar 2. Plot pengukuran di Lokasi 2 Desa Madusari, Kecamatan Sungai Raya, Kabupaten Kubu Raya, Kalimantan Barat

2.2. Pemantauan Muka Air Tanah

Pemantauan muka air tanah (MAT) dilakukan dengan membuat sumur pantau (piezometer) dari pipa PVC berdiameter 5cm dengan panjang 180 cm. Pipa tersebut dilubangi sekelilingnya setiap 10 cm sepanjang 150 cm dan menyisakan bagian ujung sekitar 30 cm (tidak dilubangi). Bagian pipa yang berlubang ditanamkan ke dalam tanah dan bagian ujung yang tidak berlubang berada di atas permukaan tanah.

Jumlah piezometer yang dipasang pada plot penelitian adalah 12 piezometer, yang terdiri dari 6 piezometer di tiap lokasi, dan 3 piezometer di tiap transek. Jarak antar transek sekitar 150 m, sedangkan jarak antar piezometer dalam transek adalah 25 m.

Pengukuran MAT dilakukan setiap minggu menggunakan penggaris kayu yang dicelupkan ke dalam piezometer. Jarak antara permukaan air dan permukaan tanah dihitung sebagai MAT.

2.3. Pengukuran Sifat Gambut

Sifat gambut yang diukur dalam penelitian ini meliputi kedalaman gambut, bobot isi, berat jenis partikel, porositas dan permeabilitas. Pengambilan sampel untuk pengukuran terhadap sifat gambut ini dilakukan pada awal penelitian bersamaan dengan waktu pemasangan piezometer. Selain itu dilakukan pengukuran kadar air gravimetrik (KAG) dan kadar air volumetrik (KAV) setiap minggu pada saat pengukuran MAT.

3. Hasil dan Pembahasan

3.1. Fluktuasi Muka Air Tanah

Muka air tanah berfluktuasi dari 0 hingga 113 cm di bawah permukaan tanah, dengan rata-rata sebesar -24 ± 12 cm dan -56 ± 19 cm masing-masing di Lokasi 1 dan Lokasi 2. Fluktuasi MAT pada tiap minggu pengukuran disajikan dalam Gambar 3.

Dalam gambar tersebut terlihat bahwa muka air tanah di Lokasi 1 umumnya berada pada kisaran yang dianjurkan sesuai peraturan pemerintah (-40 cm). Pada Lokasi 2, MAT cenderung berada di bawah -40 cm. Perbedaan MAT antara transek 1 (setelah sekat) dan 2 (sebelum sekat) di tiap lokasi disajikan dalam Gambar 4. Tidak terdapat perbedaan nyata antara MAT transek 1 dan transek 2 di Lokasi 1 (p -value=0,444), namun pada Lokasi 2, nilai MAT transek 1 lebih dalam daripada MAT transek 2 (p -value < 0,001). Posisi sekat yang berada diujung saluran atau kanal, menyebabkan kedua transek pada Lokasi 1 terletak sebelum sekat beton. Penambahan sekat semi permanen di antara transek 1 dan 2 pada Lokasi 1 tidak menyebabkan MAT antar transek tersebut berbeda. Pada Lokasi 2, pembuatan sekat pada saluran menyebabkan MAT yang terukur pada transek setelah sekat (transek 1) lebih rendah daripada transek sebelum sekat (rata-rata perbedaan

sebesar 18 cm). Hal ini menunjukkan sekat kanal efektif dalam meningkatkan MAT di lahan, meskipun rata-rata MAT selama penelitian ini masih belum memenuhi kriteria MAT yang dianjurkan (-40 cm).

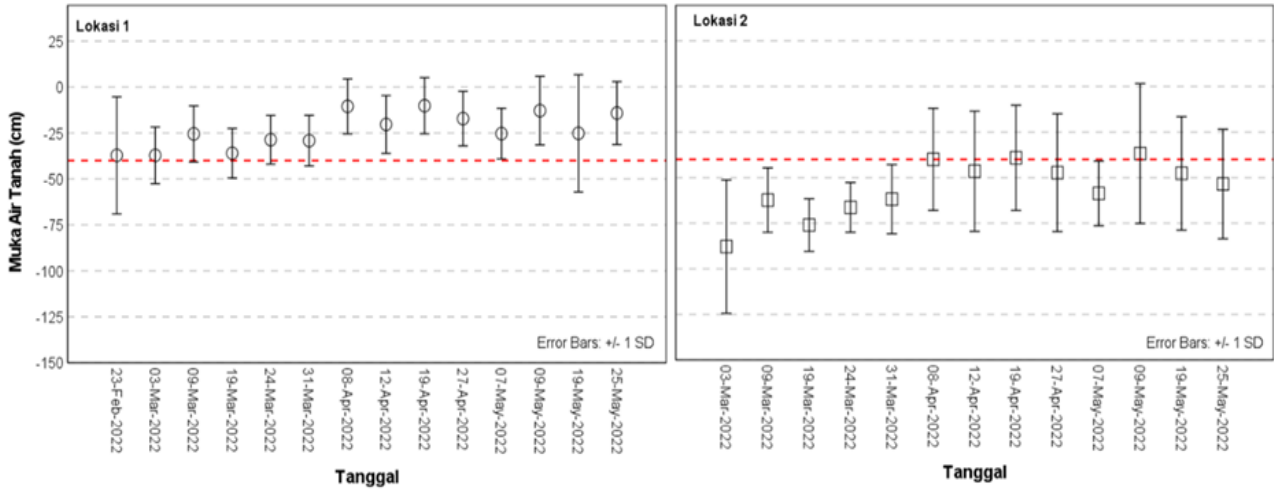
Peningkatan MAT pada bagian hulu sekat dilaporkan oleh beberapa penelitian sebelumnya (Ritzema et al. 2014; S. Sutikno, Rinaldi, Saputra, et al. 2020). Peningkatan muka air tanah akibat sekat kanal tersebut bervariasi tergantung banyak faktor yang saling terkait seperti kondisi tanah, tinggi, letak, jumlah dan model sekat kanal serta kondisi cuaca (Suryadi, Soekarno, and Humam 2021; Urzainki et al. 2020). Dilaporkan peningkatan muka air tanah dapat terjadi hingga 400 m ke arah hulu (S. Sutikno, Rinaldi, Putri, et al. 2020)

Muka air tanah berfluktuasi berdasarkan jarak dari saluran (Gambar 5). Dalam gambar tersebut terlihat bahwa MAT yang terukur pada jarak yang dekat dengan saluran cenderung lebih dalam daripada MAT yang terukur pada jarak yang lebih jauh. Hasil analisis keragaman menunjukkan jarak dari saluran memberikan pengaruh nyata terhadap nilai MAT. Nilai Fhitung analisis keragaman pada Lokasi 1 adalah 17,094 (p -value < 0,001), sedangkan pada Lokasi 2, nilai statistik Brown-Forsythe = 16,625 (p -value < 0,001). Data MAT pada Lokasi 2 tidak terdistribusi normal dan variannya tidak homogen, sehingga analisis keragaman yang digunakan adalah analisis keragaman Brown-Forsythe.

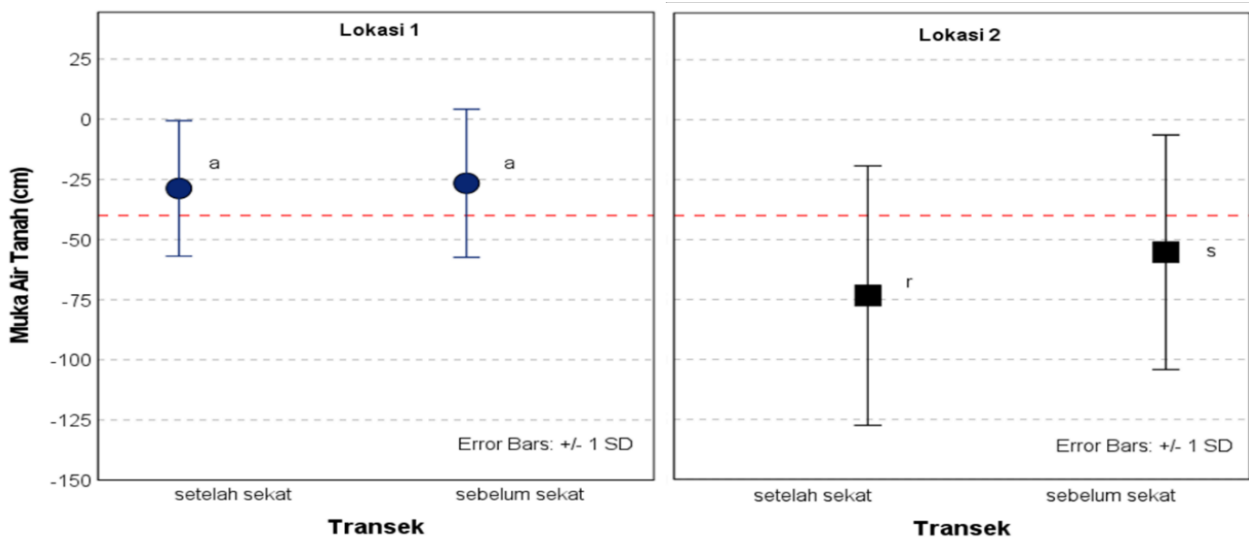
Dalam Gambar 5 juga disajikan hasil uji beda nilai MAT pada beberapa jarak dari saluran. Nilai MAT pada jarak 50 m dan 75 m dari saluran tidak berbeda nyata (berdasarkan uji BNJ taraf 5%) di Lokasi 1. Pada Lokasi 2 nilai MAT di lahan hanya berbeda nyata dengan MAT di saluran, sedangkan MAT di lahan pada jarak 25 m, 50 m, dan 75 m dari saluran relatif sama berdasarkan uji beda Gomes Howell (taraf 5%).

Muka air tanah cenderung menjadi lebih rendah pada jarak yang lebih jauh dari kanal. Pola MAT seperti ini juga dilaporkan oleh penelitian sebelumnya yang menunjukkan muka air tanah dapat terjaga hingga pada jarak 200 m secara tegak lurus dari kanal (Sigit Sutikno et al. 2019; S. Sutikno, Rinaldi, Saputra, et al. 2020).

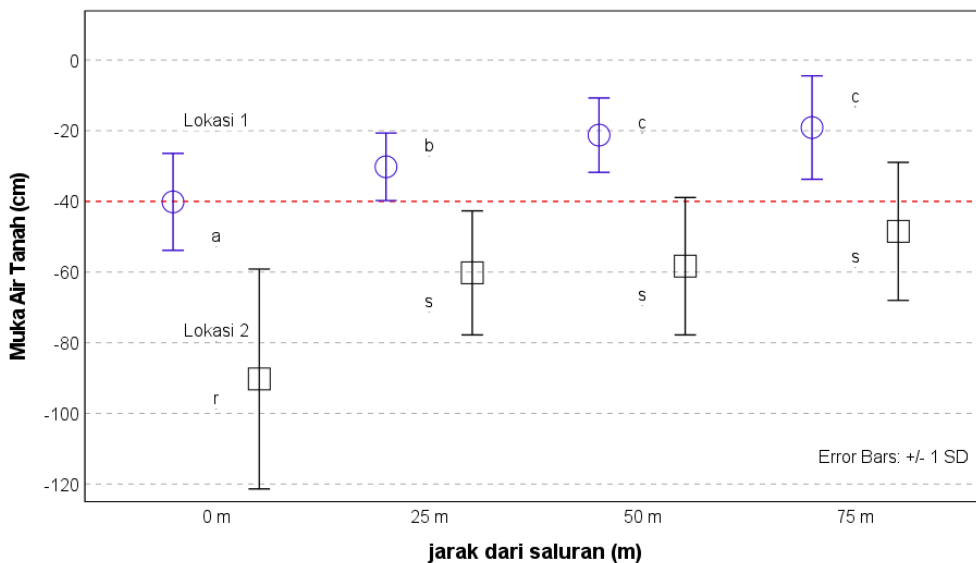
Muka air tanah mencerminkan kadar air yang terkandung di dalam tanah. Gambar 6 menyajikan hubungan antara MAT dan kadar air pada kedua lokasi penelitian. Hasil analisis terhadap nilai MAT selama periode pengukuran menunjukkan adanya korelasi nyata dengan nilai kadar air volumetrik ($r=0,303$; p -value < 0,001). Namun korelasi antara MAT dan kadar air gravimetrik tidak nyata secara statistik ($r=0,034$; p -value=0,679). Hal ini mengindikasikan bahwa korelasi kadar air volumetrik dengan MAT merupakan kontribusi dari nilai bobot isinya.



Gambar 3. Muka air tanah (rerata ± standar deviasi) pada tiap minggu pengukuran di Lokasi Penelitian



Gambar 4. Rerata muka air tanah yang terukur sebelum sekat (transek 2) dan setelah sekat (transek 1). Huruf yang berbeda menunjukkan perbedaan nyata pada uji t dengan taraf nyata 5%



Gambar 5. Rerata muka air tanah di lokasi penelitian berdasarkan jarak dari saluran. Huruf yang berbeda menunjukkan perbedaan nyata pada taraf 5% berdasarkan uji Tukey (Lokasi 1) dan uji Games Howell (Lokasi 2)

Kadar air yang diukur pada saat penelitian ini merupakan kadar air tanah sesaat yang nilainya sangat variatif tergantung kondisi cuaca saat pengambilan sampel. Hal ini pula yang menjadi keterbatasan dari penelitian ini yang belum secara utuh menggambarkan fluktuasi harian muka air tanah. Berbeda dengan penelitian Irfan et al. (2020) yang mengkorelasikan MAT dengan kadar air yang dicatat secara kontinu melalui sensor otomatis sehingga nilai korelasi yang diperoleh jauh lebih tinggi. Hubungan MAT dan kadar air tanah ini menunjukkan daya kapilaritas tanah gambut yang dipengaruhi oleh sifat fisik gambut (Adhi et al. 2020). Selain itu, kadar air tanah gambut berperan penting dalam mempertahankan sifat hidrofilik gambut (Perdana et al. 2018).

3.2. Muka Air Tanah dan Sifat Gambut

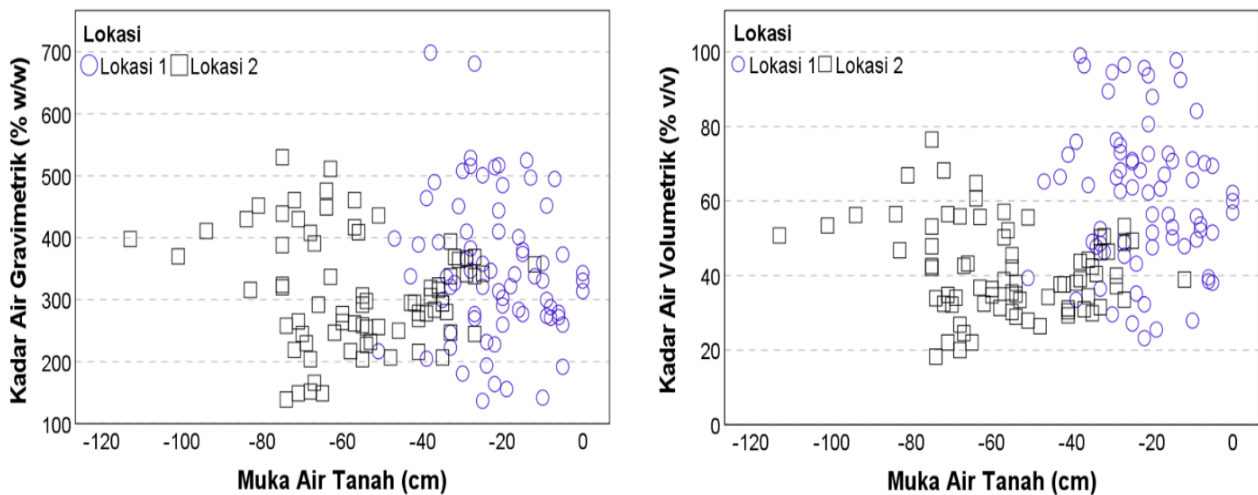
Beberapa sifat gambut yang diukur dalam penelitian ini disajikan dalam Tabel 1. Terdapat perbedaan kedalaman gambut, bobot isi dan porositas antar kedua lokasi. Sifat gambut pada Lokasi 1 cenderung menunjukkan kondisi gambut yang lebih banyak mengalami gangguan berupa aktivitas manusia dalam budidaya, yang ditunjukkan dengan

bobot isi yang lebih besar dan porositas yang lebih kecil (Anshari et al. 2010). Lokasi 1 merupakan lahan pertanian yang dikelola secara rutin, sedangkan lokasi 2 merupakan semak belukar bekas terbakar yang baru dibuka untuk lahan pertanaman jagung.

Perbedaan bobot isi dan porositas berkontribusi pada variasi nilai MAT yang lebih besar di Lokasi 2. Bobot isi yang rendah menunjukkan jumlah pori-pori gambut lebih banyak sehingga tanah gambut lebih mudah untuk kehilangan air. Hal ini terlihat dari hasil uji Levene menunjukkan keragaman nilai MAT di Lokasi 2 lebih besar dari lokasi 1 (pvalue < 0,001).

3.3. Keterkaitan Curah Hujan dengan Muka Air Tanah dan Kadar Air

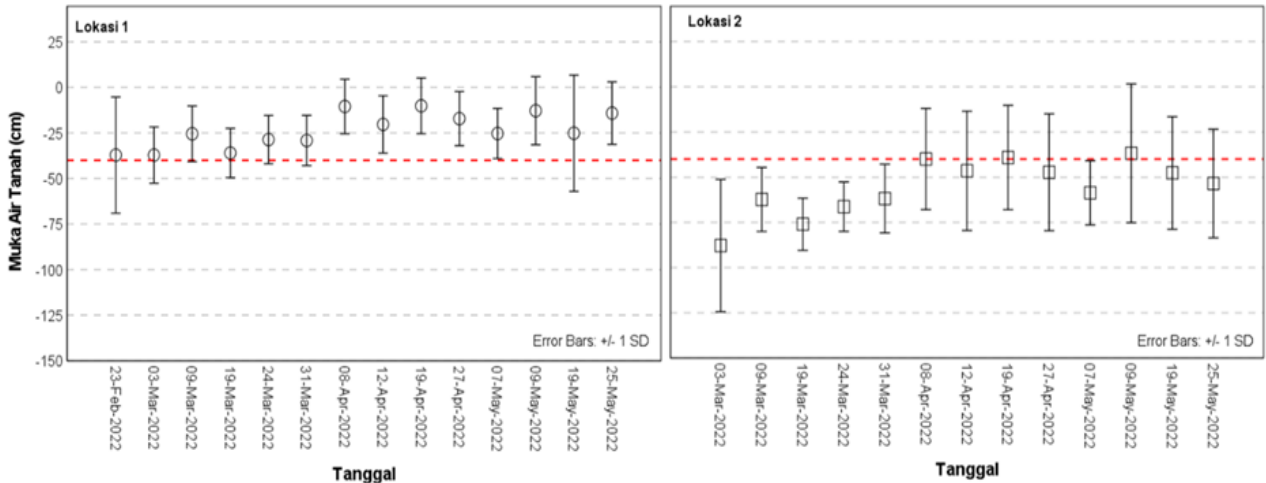
Tinggi hujan selama periode pengukuran dan hubungannya dengan MAT dan KAG disajikan dalam Gambar 7, 8 dan 9. Dalam gambar tersebut terlihat adanya kecenderungan MAT mengikuti curah hujan, namun pola tersebut tidak terlalu jelas pada nilai KAG dan KAV. Hal ini memperjelas bahwa muka air tanah dan kadar air tanah merupakan hasil proses hidrologi gambut yang melibatkan banyak faktor termasuk karakteristik gambut, lingkungan dan penggunaan lahan.



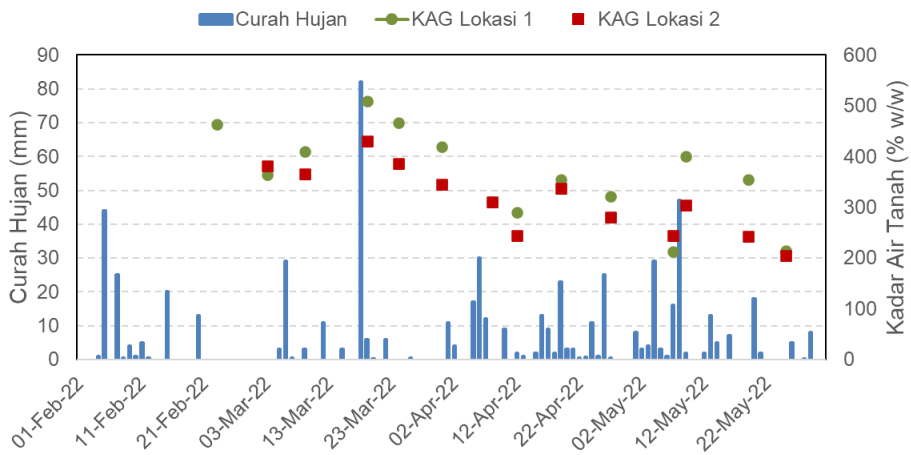
Gambar 6. Hubungan Muka Air Tanah dengan Kadar Air Gravimetrik dan Kadar Air Volumetrik

Tabel 1. Beberapa Sifat Fisik Gambut di Lokasi Penelitian

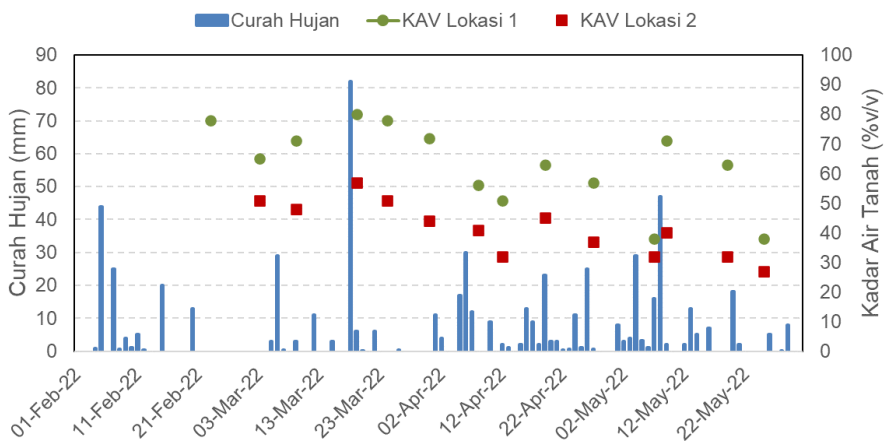
Sifat Gambut	Lokasi 1 (n=6)		Lokasi 2 (n=6)	
Kedalaman Gambut (cm)	159	± 59	262	± 10
Bobot Isi (g cm-3)	0,18	± 0,02	0,13	± 0,01
Porositas (%)	87	± 3	90	± 1
Permeabilitas (cm/jam)	54,27	± 22,74	57,57	± 58,23



Gambar 7. Curah Hujan dan Muka Air Tanah selama Penelitian di Lokasi 1 dan 2



Gambar 8. Curah Hujan dan Kadar Air Gravimetrik selama Penelitian di Lokasi 1 dan 2



Gambar 9. Curah Hujan dan Kada Air Volumetrik selama Penelitian di Lokasi 1 dan 2

3.4 Pembahasan

Muka air tanah yang tercatat dalam penelitian ini dapat mencerminkan kondisi pengelolaan lahan gambut di lokasi penelitian. Meskipun pengamatan berlangsung sekitar tiga bulan, namun cukup memberikan gambaran tentang fluktuasi muka air tanah di lokasi penelitian yang merupakan lahan pertanian skala kecil milik masyarakat. Nilai MAT di

Lokasi 1 yang bervariasi pada kisaran MAT yang dianjurkan menunjukkan pengelolaan lahan gambut yang baik di lokasi tersebut. Berbeda dengan nilai MAT yang cenderung berada di bawah -40 cm di Lokasi 2 yang menunjukkan lahan tersebut rentan terhadap degradasi gambut. Dalam aturan pemerintah, MAT yang berada di bawah -40 cm merupakan salah satu indikator kerusakan gambut.

Kondisi lahan gambut dengan MAT tersebut dilaporkan dapat meningkatkan resiko kebakaran (Taufik et al, 2022). Hal ini diperkuat oleh hasil pengamatan di Lokasi 2 yang mengindikasikan tanda-tanda pasca kebakaran sebelum lahan tersebut ditanami jagung. Informasi penduduk sekitar lokasi juga mengkonfirmasi kejadian kebakaran tersebut.

Menjaga muka air tanah lahan gambut merupakan salah satu upaya untuk mengendalikan dampak negatif dari penggunaan lahan gambut. Muka air tanah dapat dijadikan sebagai indikator besarnya emisi karbon yang dilepaskan melalui dekomposisi gambut (Hooijer et al. 2012; Carlson et al., 2015; Swails et al. 2019). Perubahan muka air tanah berdampak pada perubahan struktur mikroba di dalam tanah gambut sehingga mempengaruhi aktivitas mikroba dalam melepaskan CO₂ dan CH₄ (Kwon et al., 2013; Kusai and Ayob 2020).

Berdasarkan nilai muka air tanah yang terukur selama penelitian terdapat indikasi bahwa pembangunan sekat kanal memberikan dampak terhadap muka air tanah yang terukur di sekitarnya. Muka air tanah yang cenderung lebih rendah pada bagian hulu sekat kanal menunjukkan bahwa sekat kanal tersebut mampu meningkatkan muka air tanah, meskipun tidak selalu berada pada kisaran yang dianjurkan (40 cm di bawah permukaan tanah). Pengamatan muka air tanah yang berkelanjutan diperlukan untuk memantau efektivitas sekat kanal dalam mewujudkan program pembasahan gambut sebagai salah upaya restorasi gambut dan mitigasi perubahan iklim

4. Kesimpulan

Pembuatan sekat kanal sebagai salah satu upaya untuk mengendalikan laju degradasi lahan gambut dapat diuji keberhasilannya melalui kemampuannya dalam menjaga muka air tanah. Selama penelitian terjadi variasi muka air tanah yang dipengaruhi oleh jarak dan letak piezometer terhadap sekat kanal serta kejadian hujan di lokasi penelitian. Meskipun nilai muka air tanah tidak selalu berada pada kisaran yang dianjurkan, secara umum terlihat dampak positif dari pembuatan sekat kanal dalam menjaga muka air tanah di sekitarnya

Ucapan Terimakasih

Terimakasih disampaikan kepada Lembaga Pengelola Dana Pendidikan (LPDP) yang telah mendanai penelitian ini melalui skema Riset Mandiri Keilmuan tahun 2021.

Daftar Pustaka

Adhi, Y. A., Anwar, S., Tarigan, S. D., & Sahari, B. 2020. Relationship between groundwater level and water content in oil palm plantation on drained peatland in Siak, Riau Province, Indonesia. *Pertanika Journal of Tropical Agricultural Science*, 43(3), 45-427.

Anda, M., Ritung, S., Suryani, E., Sukarman, Hikmat, M., Yatno, E., Mulyani, A., Subandiono, R. E., Suratman, & Husnain. 2021. Revisiting tropical peatlands in Indonesia: Semi-detailed mapping, extent and depth distribution assessment. *Geoderma*, 402, 115235.

Anshari, G.Z., Afifudin, M, Nuriman, M., Gusmayanti, E., Arianie, L., Susana, R., Nusantara, R.W., Sugardjito, J and, Rafiastanto, A. 2010. Drainage and land use impacts on changes in selected peat properties and peat degradation in West Kalimantan Province, Indonesia. *Biogeosciences*, 7, 3403-3419.

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. *Environ. Res. Lett*, 10(7), 074006.

Gusmayanti, E., Anshari, G. Z., Pramulya, M., & Ruliyansyah, A. 2019. CO₂ fluxes from drained tropical peatland used for oil palm plantation in relation to peat characteristics and crop age after planting. *Biodiversitas*, 20(6), 1650-1657.

Hooijer, A., Page, S., Jauhiainen, J., Lee, W. a., Lu, X. X., Idris, A., & Anshari, G. 2012. Subsidence and carbon loss in drained tropical peatlands. *Biogeosciences*, 9(3), 1053-1071.

Hoyos-Santillan, J., Lomax, B. H., Large, D., Turner, B. L., Lopez, O. R., Boom, A., Sepulveda-Jauregui, A., & Sjögersten, S. 2019. Evaluation of vegetation communities, water table, and peat composition as drivers of greenhouse gas emissions in lowland tropical peatlands. *Science of the Total Environment*, 688,1193-1204.

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.

Irfan, M., Kurniawati, N., Ariani, M., Sulaiman, A., & Iskandar, I. 2020. Study of groundwater level and its correlation to soil moisture on peatlands in South Sumatra. *Journal of Physics: Conference Series*, 1568(1), 012028.

Ishikura, K., Hirano, T., Okimoto, Y., Hirata, R., Kiew, F., Melling, L., Aeries, E. B., Lo, K. S., Musin, K. K., Waili, J. W., Wong, G. X., & Ishii, Y. 2018. Soil carbon dioxide emissions due to oxidative peat decomposition in an oil palm plantation on tropical peat. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 254, 202-212. <https://doi.org/10.1016/j.agee.2017.11.025>

Ishikura, K., Yamada, H., Toma, Y., Takakai, F., Morishita, T., Darung, U., Limin, A., Limin, S. H., & Hatano, R. 2017. Effect of groundwater level fluctuation on soil respiration rate of tropical peatland in Central Kalimantan, Indonesia. *Soil Science and Plant Nutrition*, 63(1), 1-13.

Kiely, L., Spracklen, D. V., Arnold, S. R., Papargyropoulou, E., Conibear, L., Wiedinmyer, C., Knote, C., & Adrianto, H. A. 2021. Assessing costs of Indonesian fires and the benefits of restoring peatland. *Nature Communications*, 12(1), 1-11.

Kusai, N. A., & Ayob, Z. 2020. Bacterial Diversity in Peat Soils of Forest Ecosystems and Oil Palm Plantation. *Eurasian Soil Science*, 53(4), 485-493.

Kwon, M. J., Haraguchi, A., & Kang, H. 2013. Long-term water regime differentiates changes in decomposition

- and microbial properties in tropical peat soils exposed to the short-term drought. *Soil Biology and Biochemistry*, 60, 33–44.
- 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.
- Perdana, L. R., Ratnasari, N. G., Ramadhan, M. L., Palamba, P., Nasruddin, & Nugroho, Y. S. 2018. Hydrophilic and hydrophobic characteristics of dry peat. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 105(1), 012083.
- Ritzema, H., Limin, S., Kusin, K., Jauhiainen, J., & Wosten, H. 2014. Canal blocking strategies for hydrological restoration of degraded tropical peatlands in Central Kalimantan, Indonesia. *Catena*, 114, 11–20.
- Suryadi, Y., Soekarno, I., & Humam, I. A. 2021. Effectiveness analysis of canal blocking in sub-peatland hydrological unit 5 and 6 Kahayan Sebangau, Central Kalimantan, Indonesia. *Journal of Engineering and Technological Sciences*, 53(2), 210205.
- Sutikno, S., Nasrul, B., Gunawan, H., Jayadi, R., Rinaldi, Saputra, E., & Yamamoto, K. 2019. The effectiveness of canal blocking for hydrological restoration in tropical peatland. *MATEC Web of Conferences*, 276, 06003.
- Sutikno, S., Rinaldi, R., Putri, R. A., & Khotimah, G. K. 2020. Study on the impact of canal blocking on groundwater fluctuation for tropical peatland restoration. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 933(1).
- Sutikno, S., Rinaldi, R., Saputra, E., Kusairi, M., Saharjo, B. H., & Putra, E. I. 2020. Water management for hydrological restoration and fire prevention in tropical peatland. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 933(1), 012053.
- Swails, E., Yang, X., Asefi, S., Hergoual'c'h, K., Verchot, L., McRoberts, R. E., & Lawrence, D. 2019. Linking soil respiration and water table depth in tropical peatlands with remotely sensed changes in water storage from the gravity recovery and climate experiment. *Mitigation and Adaptation Strategies for Global Change*, 24(4), 575–590.
- Taufik, M., Widyastuti, M. T., Sulaiman, A., Murdiyarso, D., Santikayasa, I. P., & Minasny, B. 2022. An improved drought-fire assessment for managing fire risks in tropical peatlands. *Agricultural and Forest Meteorology*, 312, 108738.
- Urzainki, I., Laurén, A., Palviainen, M., Haahti, K., Budiman, A., Basuki, I., Netzer, M., & Hökkä, H. 2020. Canal blocking optimization in restoration of drained peatlands. *Biogeosciences*, 17(19), 4769–4784.