

## **MONITORING DAN UPAYA MENGENDALIKAN MUKA AIR PADA PERKEBUNAN DI LAHAN RAWA GAMBUT DI INDONESIA**

### ***MONITORING AND WATER TABLE CONTROL FOR PLANTATION ON PEATLAND IN INDONESIA***

**L. Budi Triadi<sup>1)</sup> Parlinggoman Simanungkalit<sup>2)</sup>**

<sup>1)</sup>Puslitbang Sumber Daya Air, Jl. Ir. H. Juanda no.193, Bandung, Jawa Barat

<sup>2)</sup>Balai Litbang Rawa, Jl. Gatot Subroto No. 6, Banjarmasin, Kalimantan Selatan

E-mail: buditriadi@yahoo.com

#### **ABSTRAK**

*Pembuatan drainase dalam pengembangan perkebunan di lahan gambut sering menimbulkan perbedaan pendapat. Pembuatan saluran drainase di lahan gambut akan diikuti oleh peristiwa penurunan permukaan lahan (subsiden). Untuk dapat memperpanjang peluang mendapatkan profit dalam usaha perkebunan diperlukan upaya pencegahan subsiden. Pengaturan tinggi muka air dan pencegahan drainase berlebih adalah salah satu upaya untuk menurunkan laju subsiden pada lahan gambut. Kajian ini dibuat berdasarkan kajian pustaka dengan mengumpulkan informasi dari berbagai sumber dan kemudian membandingkan dan menganalisisnya sehingga didapatkan informasi mengenai suatu pokok bahasan secara komprehensif. Kajian pustaka mencakup: parameter pemantauan, jenis peralatan, pola penempatan, jumlah peralatan pemantau dan frekuensi pengamatan. Dari hasil kajian disimpulkan bahwa tinggi muka air perlu diukur pada lahan dan saluran dengan alat sumur pantau dan pelskal. Pengamatan sebaiknya dilakukan dengan kombinasi alat pencatat otomatis dan pencatatan manual. Keduanya cukup akurat, namun penggunaan pencatat otomatis pada lokasi yang jauh akan menghemat waktu, dan jika alat otomatis dipasang pada area yang berpotensi mempunyai fluktuasi tinggi muka air yang besar dan berlangsung cepat akan memberikan data yang lebih akurat. Tabat untuk mengatur tinggi muka air dibangun setiap perbedaan tinggi muka air 20cm.*

**Kata kunci:** *Monitoring di Indonesia, perkebunan, tinggi muka air*

#### **ABSTRACT**

*Drainage construction for plantations development on peatlands often caused controversy. Drainage construction will be followed by subsidence of peatland . To be able to extend the chance to get profit in the plantation business subsidence prevention efforts are needed. Setting water level and the prevention of excessive drainage is one of the efforts to reduce the rate of subsidence of the peat. This study is based on literature review by collecting information from various sources and then comparing and analyzing it so that information is obtained on a comprehensive subject matter. Literature review include: monitoring parameters, types of equipment for monitoring, pattern placement monitoring equipment, the range and the frequency of monitoring. From the study concluded that the water level necessary to measure on land and channels using dipwell and staff gauges. Observations were made with a combination of automated recording device and manual recording. Both are quite accurate, but the use of automatic registers in remote locations saves time, and if an automatic device is installed in an area that has the potential to have large water level fluctuations and runs quickly, it will provide more accurate data. Observations on dams for water level control are installed at every 20 cm drop in hydraulic head.*

**Keywords:** *Monitoring in Indonesia, plantation, water table*

## PENDAHULUAN

Pengembangan perkebunan di Lahan gambut, masih potensial. Dari sekitar 14,9 juta hektar lahan gambut yang dimiliki Indonesia, (Ritung dkk., 2011) terdapat sekitar 6 juta hektar berpotensi untuk dikembangkan untuk pertanian (BBSDLP, 2008). Sebagai ilustrasi dari luasan perkebunan sawit di Sumatera pada tahun 2010 yang luasnya sekitar 7,72 juta hektar terdapat 20-22 % diantaranya yang berada di lahan gambut. (Agus dkk., 2012).

Kegiatan pertanian dan perkebunan, termasuk Hutan Tanaman Industri (HTI) dan Kelapa sawit memberikan kontribusi yang nyata bagi rusaknya ekosistem gambut. Dalam hal ini, reklamasi dengan sistem drainase berlebihan yang menyebabkan keringnya gambut menjadi faktor penyebab kerusakan lahan gambut yang cukup signifikan (Najiyati, S. dkk., 2005).

Pembukaan lahan gambut berskala besar dengan membuat saluran/parit telah menambah resiko terjadinya kebakaran di saat musim kemarau. Pembuatan saluran/parit telah menyebabkan hilangnya air tanah dalam gambut sehingga gambut mengalami kekeringan yang berlebihan di musim kemarau dan mudah terbakar. Terjadinya gejala kering tak balik (*irreversible drying*) dan gambut berubah sifat seperti arang menyebabkan gambut tidak mampu lagi menyerap hara dan menahan air (Adinugroho, W.C. dkk., 2004)

Keberadaan parit dan saluran ini menyebabkan timbulnya drainase buatan yang tidak terkendali, sehingga air tanah yang ada pada lahan gambut secara cepat mengalir keluar, daya tampung air tanahnya menjadi kecil dan terjadi penurunan drastis terhadap tinggi muka air tanah. Kejadian ini kemudian akan diikuti oleh oksidasi gambut dan penyusutan/penurunan (*subsidence*) gambut. Sehubungan dengan hal di atas, maka perlu dilakukan revitalisasi terhadap lahan-lahan gambut yang sudah mengalami kerusakan melalui pengendalian muka air agar tidak menimbulkan kerusakan yang semakin parah terhadap lingkungan lahan gambut (Suryadiputra, I.N.N., 2005). (Suryadiputra, I N.N., 2005)

Monitoring muka air pada perkebunan di lahan rawa gambut merupakan kebutuhan sebagai upaya untuk mengatur/mengendalikan muka air tanah gambut dalam rangka menjamin pertumbuhan tanaman tetap baik dan mengurangi degradasi lahan gambut. Monitoring tinggi muka air juga merupakan upaya untuk memperpanjang masa pakai lahan gambut untuk perkebunan. Lebih jauh lagi, monitoring tinggi

muka air juga merupakan kewajiban dari setiap pelaku usaha untuk mentaati ketentuan yang diamanatkan dalam undang-undang. Dalam Peraturan Pemerintah No. 57 Tahun 2016 ditegaskan bahwa "Ekosistem Gambut dengan fungsi budidaya dinyatakan rusak apabila muka air tanah di lahan Gambut lebih dari 0,4 (nol koma empat) meter di bawah permukaan Gambut pada titik penaatan". Dengan demikian upaya untuk mempertahankan muka air pada kedalaman tersebut dan prose pemantauannya harus dilakukan.

Dari penelitian ini diharapkan dapat dirumuskan suatu metode monitoring tinggi muka air yang mencakup hal-hal berikut:

- 1 Parameter pemantauan
- 2 Jenis peralatan untuk pemantauan
- 3 Pola penempatan peralatan pemantau
- 4 Jumlah peralatan pemantau.
- 5 Frekuensi pengamatan

## KAJIAN PUSTAKA

Gambut merupakan akumulasi sisa tumbuhan yang terdekomposisi sebagian dan terawetkan dalam kondisi aerasi tidak sempurna dan kadar air yang tinggi. Gambut dapat terakumulasi di mana pun jika kondisinya cocok, yaitu, di areal dengan kelebihan curah hujan dan drainase yang buruk atau tergenang. Gambut terbentuk ketika bahan tumbuhan, biasanya di daerah berawa, terhambat untuk terdekomposisi secara sempurna karena lingkungan yang asam kurang atau tidak mendukung adanya aktivitas mikroba (Huat dkk., 2014). Pembentukan gambut tropika merupakan proses pembentukan biomassa dari sisa tumbuhan setempat lebih cepat dibandingkan dengan proses penguraian, maka terbentuklah lapisan bahan organik yang semakin tebal yang disebut tanah gambut (Noor, M. dkk, 2014).

Lahan gambut dapat terbentuk melalui dua proses yaitu proses pengisian badan air (pembentukan daratan) dan proses paludifikasi (Huat dkk., 2014). Sementara itu Rydin H., dan J.K. Jeglum (2006), menyebutkan adanya 3 proses pembentukan gambut yaitu pengisian cekungan (*terrestrialization*), pembentukan gambut primer dan paludifikasi.

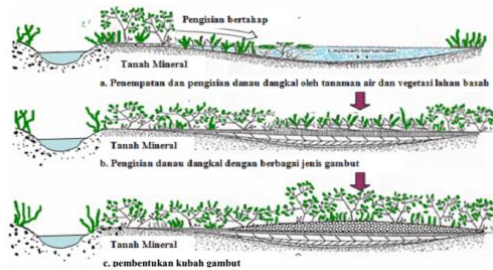
Tanah gambut tropika terbentuk secara bertahap dengan memakan waktu yang sangat panjang. Selanjutnya proses pembentukan diikuti oleh proses penyederhanaan atau penguraian menjadi ion (larut) dan gas (emisi) yang melibatkan mikroorganisme yang aktivitasnya juga memerlukan air, dan udara (Noor, M. Dkk, 2014). Akibat kondisi lingkungan rawa yang reduktif, maka proses penimbunan sisa

tumbuhan setempat berlangsung lebih cepat dibandingkan proses penguraian, sehingga membentuk lapisan bahan organik yang disebut gambut (Maas, 2012).

Pada gambut tropika, pembentukan gambut dimulai dengan pengisian bertahap suatu cekungan atau rawa oleh sedimen dari luar. Pada tahap selanjutnya pembentukan gambut mengalami percepatan secara horizontal dan vertikal. Pada tahapan ini pasokan air berasal dari air hujan dan limpasan dari sekitarnya. Pada tahapan ketiga, terjadi penebalan gambut atau pembentukan kubah gambut. Pada tahapan ini, permukaan gambut dan permukaan air tanah naik sehingga tidak mendapat pasokan air dari luar dan sumber air satu-satunya adalah air hujan (Noor, M. dkk, 2014).

Pada tahap ke dua, akar tumbuhan yang hidup di atas timbunan gambut (tipis) masih dapat mengambil hara mineral dari lapisan di bawahnya (substratum) yang sebagian besar hara disumbang dari air sungai, sehingga gambut yang terbentuk termasuk subur (topogenous). Namun pada tahap ketiga, dengan semakin tebalnya lapisan gambut yang terbentuk, maka tumbuhan atau vegetasi yang hidup di atas gambut (tebal) tersebut tidak dapat lagi menyerap hara dari lapisan mineral di bawahnya, sehingga pasokan hara hanya dari air hujan dan atau hasil perombakan bahan organik setempat sehingga gambut yang terbentuk tergolong tidak subur (ombrogenous). Oleh karena itu, semakin tebal gambut maka semakin tidak subur lapisan gambut di atasnya. Demikian juga, gambut yang di bawahnya berupa lapisan liat (marin) lebih subur dibandingkan apabila di bawahnya lapisan pasir (Noor, M. dkk, 2014).

Gambar 1 menunjukkan proses tahapan pembentukan gambut tropika menjadi gambut topogenous dan ombrogenous .



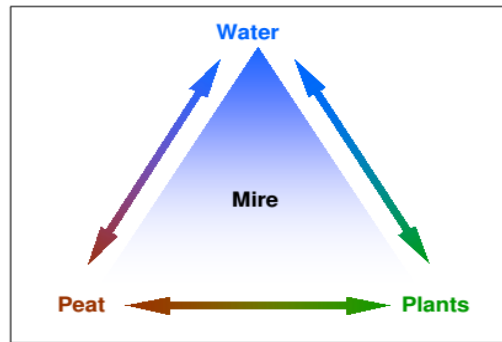
Sumber: Van de Meene (1984)

**Gambar 1** Proses pembentukan lahan gambut

**Kondisi Lingkungan Lahan Gambut**

Ekosistem lahan gambut merupakan hasil interaksi tiga komponen yang saling berkaitan yaitu tumbuhan, air, dan gambut (Gambar 2). Tumbuhan menentukan jenis gambut yang akan

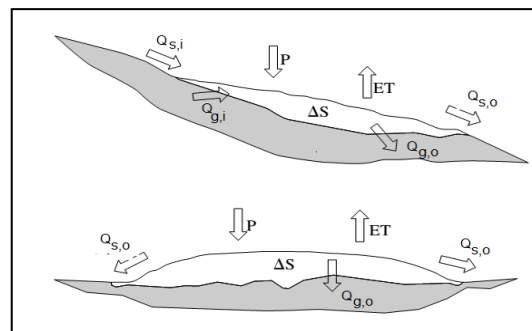
terbentuk dan bagaimana sifat hidroliknya. Air (hidrologi) akan menentukan jenis tumbuhan yang akan tumbuh dan bagaimana gambut tersimpan dan terdekomposisi. Struktur gambut adalah bentuk permukaan yang akan menentukan bagaimana air mengalir dan berfluktuasi. Saling keterkaitan ini menyiratkan bahwa ketika salah satu dari komponen ini mengalami perubahan, komponen lainnya juga akan berubah. Belum tentu perubahan terjadi sekaligus, tetapi dalam jangka panjang pasti akan terjadi (Schumann, M. dan Joosten, H.,2008).



**Gambar 2** Diagram interaksi antara gambut dengan komponen lain dalam lingkungan.

Dalam kondisi alami, tinggi muka air tanah dengan di lahan gambut mengikuti siklus tahunan yakni tergenang atau atau di dekat permukaan tanah selama musim hujan dan menurun selama musim kemarau. Pada musim kemarau tinggi muka air umumnya bervariasi antara -20 dan -40 cm dari permukaan dan tidak turun lebih dari -100 cm walaupun pada periode kering berkepanjangan (Takahashi dkk., 2003; Wösten dkk., 2006).

Kesetimbangan pasokan air pada lahan gambut dapat tergambar pada neraca airnya. Konsep neraca air pada lahan gambut ombrogen dan topogen berbeda karena adanya perbedaan pasokan air. Secara ringkas model neraca air pada lahan gambut dapat dilihat pada Gambar 3.



Sumber: Rydin dan Jeglum (2006)

**Gambar 3** Sumber dan aliran keluar air pada lahan gambut topogen (atas) dan ombrogen (bawah)

Sifat fisik tanah dari jenis apapun sangat tergantung pada porositas, serta distribusi dan ukuran porinya. Untuk tanah gambut, porositas serta ukuran dan distribusi ruang pori dipengaruhi oleh tingkat kematangannya (Miatkowski, Z., dkk. 1999). Perlu diperhatikan bahwa gambut mempunyai sifat hidrolik yang berbeda dengan tanah mineral, sehingga parameter pada tanah mineral tidak memadai untuk mengukur dan membuat pemodelan proses lingkungan pada lahan gambut (Letts, MG. dkk., 2000).

Konduktivitas hidrolik adalah salah satu parameter tanah yang paling terkait dengan pergerakan air dalam suatu area. Konduktivitas hidrolik didefinisikan sebagai kemampuan untuk air mengalir melalui media berpori. Konsep konduktivitas hidrolik memiliki implikasi penting mengenai karakteristik limpasan dari tanah gambut.

Dalam kondisi jenuh seperti pada lahan gambut alami, konduktivitas hidrolik selalu disebut sebagai konduktivitas hidrolik jenuh. Faktor-faktor utama yang mempengaruhi konduktivitas hidrolik gambut adalah bentuk, interkonektivitas ruang pori, porositas, dan radius hidrolik ruang pori (Rezanezhad, F. dkk., 2009). Pada tanah gambut, karena distribusi dan ukuran pori tidak menentu, konduktivitas hidrolik juga dipengaruhi oleh faktor lain seperti tingkat dekomposisi (Melling, L. dkk., 2007). Oleh karena porositas gambut berhubungan dengan tingkat kematangan, maka daya konduktivitas hidrolik secara horizontal lebih cepat atau lebih tinggi dibandingkan dengan daya konduktivitas hidrolik secara vertikal (Noor dkk., 2014). Domain, R. dkk. (2010) telah mengumpulkan data konduktivitas hidrolik dan spesifikasinya berdasarkan kajian literatur dan hasilnya dapat dilihat pada Tabel 1.

### Pembangunan Drainase Pada Lahan Gambut

Secara alami lahan gambut hampir selalu tergenang sepanjang tahun. Kondisi ini menuntut pengelolaan air secara seksama. Pengelolaan air dapat dilakukan untuk berbagai macam tujuan. Pada tahap awal umumnya dilakukan dengan mengurangi periode genangan sehingga dapat meningkatkan daya tumpu tanah dan untuk mempermudah aksesibilitas (Andriessse, J.P., 1988).

Lahan gambut yang telah didrainase mengalami perubahan pola sirkulasi yang mempengaruhi kemampuannya untuk menahan air dan volume air yang mengalir keluar dari lahan gambut. Setiap tahun, jumlah air yang mengalir keluar dari lahan gambut yang di drainase jelas lebih besar daripada lahan gambut alami (Holden, J. dkk., 2006.). Sebagian besar air limpasan dari lahan gambut yang didrainase adalah air tanah, sementara limpasan dari lahan gambut tidak terganggu (alami) terutama berasal dari limpasan permukaan (Holden, J. dkk., 2006).

Pembangunan drainase pada lahan gambut untuk perkebunan harus dikembangkan dengan pola drainase terkendali. Drainase terkendali dapat memperlambat subsiden dan dampak buruk lainnya terhadap sistem drainase, mengurangi resiko kebakaran dan pengaruh buruk pada tanaman yang diakibatkan oleh fluktuasi muka air pada lahan. Drainase terkendali diperoleh dengan merancang sistem sehingga permukaan air dapat dipertahankan pada muka air berada pada kedalaman efektif yang kurang lebih konstan sepanjang tahun (Natural Resources Conservation Services, 2001).

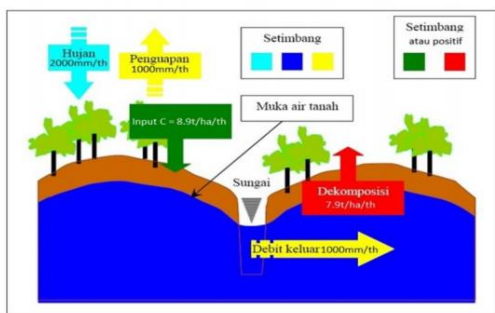
**Tabel 1** Konduktivitas hidrolik dan spesifikasi pengukurannya

Konduktivitas hidrolik (m/hari)	Spesifikasi	Sumber
0,4	1,5 m di bawah permukaan	Takahashi dan Yonetani 1997)
0,05 – 2,8		Nugroho dkk. (1997)
9	Diestimasikan pada permukaan gambut	Takahashi dan Yonetani 1997)
0,5 – 28	Gambut serat berkayu	Ong dan Yogeswaran (1992)
0,001 -35	Review pengukuran gambut di Serawak	Ong dan Yogeswaran (1992)
4 – 59	Pengukuran, kemungkinan di gambut bagian permukaan	DID dan LAWOO (1996)
30		Siderius (2004)
10 – 140	Review nilai permodelan	Ong dan Yogeswaran (1992)
200	Diturunkan dari observasi lapangan	Hoekman (2007)
116 -483	Gambut serat berkayu dengan jalur aliran tertentu	Ong dan Yogeswaran (1992)

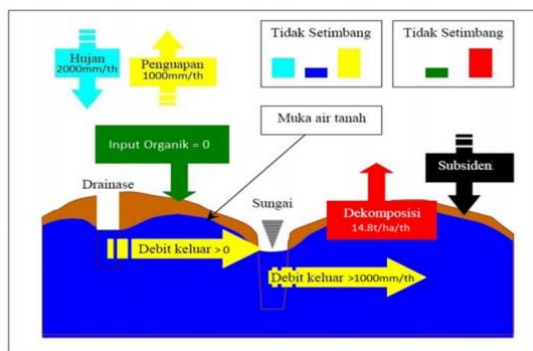
Sumber: Domain, R. dkk.( 2010)

**Perubahan Lingkungan Akibat Drainase**

Dengan dibangunnya saluran drainase pada lahan gambut, terjadilah perubahan kesetimbangan pada lahan gambut. Pergeseran kesetimbangan terjadi karena jumlah aliran air keluar lebih besar. Pergeseran akan semakin besar dalam pembangunan drainase disertai perubahan tutupan lahan. Dalam kondisi demikian kesetimbangan bergeser akibat perubahan volume air keluar dan input biomassa. Secara ringkas perubahan lingkungan pada lahan gambut yang diakibatkan oleh drainase dapat digambarkan seperti pada Gambar 4.



Sumber: angka-angka neraca karbon: Hergoualc'h (2009) Angka-angka neraca air adalah ilustrasi umum



Sumber: angka-angka neraca karbon: Hergoualc'h (2009) Angka-angka neraca air adalah ilustrasi umum

Sumber: Rais, D.S. dan Kurnianto (2015)

**Gambar 4** Kesetimbangan alami tata air dan siklus bahan organik pada lahan gambut alami (atas) dan perubahannya setelah pembukaan hutan dan pembuatan drianase (bawah)

**Subsiden**

Perubahan kondisi yang terjadi setelah pembuatan saluran drainase menjadi faktor penyebab terjadinya subsiden. Perubahan setelah dilakukan drainase terutama adalah perubahan dari kondisi lahan rawa gambut yang semula sering tergenang air dan anaerobik menjadi kondisi aerobik akibat dilakukan drainase. Kondisi aerobik menyebabkan oksidasi biologis atau mineralisasi dari bahan organik meningkat (Andriessse, J.P., 1988).

Subsiden diawali dari hilangnya daya apung dan pemadatan dari kolom bahan organik di

bawahnya karena beratnya sendiri. Pemadatan menghasilkan perubahan parameter hidropedologi seperti konduktivitas hidrolis, bobot jenis, volume pori, dan kadar air. Proses dominan berikutnya yang dapat berlangsung selama beberapa dekade adalah oksidasi dan penyusutan gambut. Tingkat subsiden dapat bervariasi tergantung pada morfologi profil gambut, komposisi gambut, kedalaman gambut, kedalaman drainase, dan penggunaan lahan (Ambak, K. dan L. Melling, 2000). Pada Tabel 2 disajikan korelasi antara laju subsiden dan penggunaan lahan.

**Tabel 2** Kecepatan subsiden hasil pengamatan pada berbagai penggunaan lahan di lokasi kegiatan ICCTF

Lokasi	Penggunaan lahan	Laju subsiden (cm/th)		
		Maks.	Min.	Rata-rata
Papua	Hutan sagu	0	0	0
Kalteng	Karet dan nenas	4,7	2,7	3,8
Kalbar	Tanaman semusim	6,8	4,7	5,6
Riau	Kelapa sawit dan nenas	4,0	2,5	3,3
Jambi	Kelapa sawit dan nenas	4,5	2,0	2,7

Sumber: Maswar dan F. Agus (2014)

**Kering Tak Balik**

Terjadinya kondisi kering tak balik juga menunjukkan bahwa bagian aktif dari tanah gambut dalam bentuk fase cair sebagian telah hilang. Menurut Sabiham (2000), penurunan kemampuan gambut menyerap air berkaitan dengan penurunan ketersediaan gugus karboksilat dan OH-fenolat dalam bahan gambut. Kedua komponen organik ini merupakan senyawa yang bersifat hidrofilik, sehingga jika fase cair telah hilang maka gambut yang pada mulanya bersifat hidrofilik berubah menjadi bersifat hidrofobik (menolak air).

Ketika gambut mengalami kering tak balik maka akan terbentuk pasir semu (*pseudo sand*). Disebut pasir semu karena secara fisik tetap tanah gambut tetapi tidak mampu lagi menahan air seperti halnya pasir (Hardjowigeno, S., 2003). Hasil penelitian Masganti dkk. (2002) menunjukkan bahwa munculnya sifat hidrofobisitas gambut saprik terjadi pada tingkat lengas 54,89 % dengan lama pengeringan 7 jam 30 menit.

### Emisi Gas Rumah Kaca

Dalam keadaan hutan alami, lahan gambut berfungsi sebagai penambat (sequester) karbon sehingga berkontribusi dalam mengurangi gas rumah kaca di atmosfer, walaupun proses penambatan berjalan sangat pelan, setinggi 0-3 mm gambut per tahun (Parish dkk., 2007) atau setara dengan penambatan 0-5,4 t CO<sub>2</sub>/ha/tahun (Agus, F., 2009).

Pembangunan drainase pada lahan gambut akan menambah difusi oksigen ke dalam sedimen lahan basah atau gambut itu sendiri. Kejadian ini akan meningkatkan respirasi ekosistem, yang menyebabkan oksidasi bahan organik (Jauhiainen, J., dkk., 2008; Kluge, B. dkk., 2008). Drainase yang lebih dalam akan meningkatkan luas atau volume gambut yang dapat teroksidasi dan dengan demikian cenderung menambah kehilangan C organik (Armentano, T.V. dan Menges, E.S., 1986; Furukawa, Y. dkk., 2005).

Hooijer, A. dkk., (2006) mengemukakan bahwa, untuk kedalaman drainase antara 30 sampai 120 cm, emisi akan meningkat setinggi 0,91 t CO<sub>2</sub>/ha/tahun untuk setiap penambahan kedalaman drainase sedalam 1 cm. Germer, J. dan J. Sauaerborn (2008) mengusulkan angka perkiraan emisi dari dekomposisi gambut yang ditanami kelapa sawit setinggi 31,4 ± 14,1 ton CO<sub>2</sub>/ha/th.

### Peningkatan resiko kebakaran

Drainase berlebihan akan meningkatkan resiko kebakaran gambut karena terjadinya penurunan kelembaban gambut. Kebakaran gambut masih bisa terjadi pada kadar air 119 % yang merupakan kadar air kritis kebakaran gambut (Syaufina, L. dkk., 2004).

### Pengaturan tinggi muka air di lahan gambut

Drainase mempunyai fungsi penting untuk budidaya di lahan gambut. Meskipun demikian, drainase berlebihan justru akan merusak lahan gambut itu sendiri. Untuk mengantisipasi drainase berlebih, diperlukan sistem pengendali drainase yang mampu mengalirkan air keluar pada periode basah (hujan) dan menyediakan sumber air (irigasi) pada periode kering (kemarau). Dengan drainase terkendali akan tercapai kestabilan lengas tanah untuk keperluan produksi yang optimal dan konservasi tanah (Stephens, J.G., 1955).

Bendungan sederhana dapat dibuat dengan menggunakan kayu bulat yang ditempatkan secara melintang pada saluran. Konstruksi pintu

dengan model *stop log* dari bahan kayu (papan) juga dapat dipakai (Stephens, J.G., 1955; Lim, K.H. dkk., 2012). Selain kayu, bendungan juga dapat dibuat dari kantong yang diisi tanah (Lim, K.H. dkk., 2012).

Bendungan atau tabat mempunyai fungsi sebagai penghambat aliran, dan tidak difungsikan untuk menghentikan semua pergerakan air. Dengan fungsi seperti ini, tabat tidak harus benar-benar kedap air (Jaenicke, J. dkk., 2010). Fungsi utama dari bendungan adalah mengurangi kehilangan air dengan menaikkan kembali tinggi muka air (Schumann, M. dan Joosten, H., 2008).

### Tinggi muka air di lahan gambut dan pengaruhnya

Setelah lahan gambut dibangun drainase, akan terjadi proses dekomposisi bahan organik penyusun gambut oleh aktivitas mikroba dan melepaskan karbon yang tersimpan ke atmosfer sebagai karbon dioksida. Dekomposisi gambut yang cepat ini terus berlangsung menyebabkan proses yang tak dapat balik yakni *irreversible*. Pada gambut yang telah mengalami drainase, kedalaman drainase mempunyai keterkaitan dengan laju oksidasi bahan organik dan laju subsiden pada lahan gambut (Wösten, J.H.M. dkk., 1997; Furukawa, Y. dkk., 2005.). Rata-rata 60% dari penurunan gambut disebabkan oleh oksidasi dan 40% sisanya disebabkan oleh kering tak balik atau penyusutan gambut (Wösten, J.H.M. dkk., 1997).

Fluktuasi tinggi muka air mencerminkan keseluruhan kesetimbangan air di suatu lokasi (Bragg, O.M., 2002). Hal ini menjadikan perubahan tinggi muka air adalah indikator hidrologi kunci yang harus dimonitor pada ekosistem lahan gambut (Bonnet, S. A. dkk., 2009).

Pada lahan gambut, tinggi muka air berkorelasi dengan salah satu indikator penting yang menentukan keberlangsungan penggunaan lahan tersebut untuk perkebunan yakni laju subsiden. Penurunan permukaan tanah pada lahan gambut dapat dikorelasikan berbanding lurus dengan kedalaman muka air tanah (Hooijer, A. dkk., 2012). Hasil penelitian menunjukkan bahwa semakin dalam muka air tanah akan berdampak pada semakin tingginya tingkat penurunan permukaan lahan (Gambar 5).

Hooijer, A. dkk. (2012) membuat suatu persamaan linear yang menghubungkan antara tingkat penurunan permukaan lahan gambut dengan tinggi muka air tanah rata-rata baik untuk lahan perkebunan Akasia dan lahan

hutan alami. Persamaan tersebut dapat dijabarkan sebagai berikut:

$$\text{Lahan Akasia : } S = 1,5 - 4,98 * WD \dots\dots\dots (1)$$

$$\text{Hutan alami : } S = 0,69 - 5,98 * WD \dots\dots\dots (2)$$

dimana, S adalah tingkat penurunan permukaan tanah gambut rata-rata dalam satu tahun (cm/tahun) dan WD adalah rata-rata kedalaman muka air tanah (- m, negatif).

**METODOLOGI**

Artikel ini didasarkan pada suatu kajian literatur. Penyusun berusaha mengumpulkan informasi dari berbagai literatur dan kemudian membandingkan dan menganalisisnya sehingga didapatkan informasi mengenai suatu pokok bahasan secara komprehensif.

**PEMBAHASAN**

Pemantauan tinggi muka air merupakan bagian dari pengelolaan drainase pada lahan gambut. Pemantauan ini dilakukan untuk tinggi muka air di lahan dan tinggi muka air pada saluran. Jika pemantauan pada lahan relatif tidak mudah terlihat, maka pemantauan pada saluran lebih mudah terlihat atau diamati. Pemantauan pada saluran sangat berguna untuk memperkirakan tinggi muka air pada lahan disekitarnya. Papan duga yang dipasang pada saluran juga dapat berfungsi sebagai referensi untuk mengatur bangunan pengendali (Minnesota Board of Water & Soil Resources, 2013).

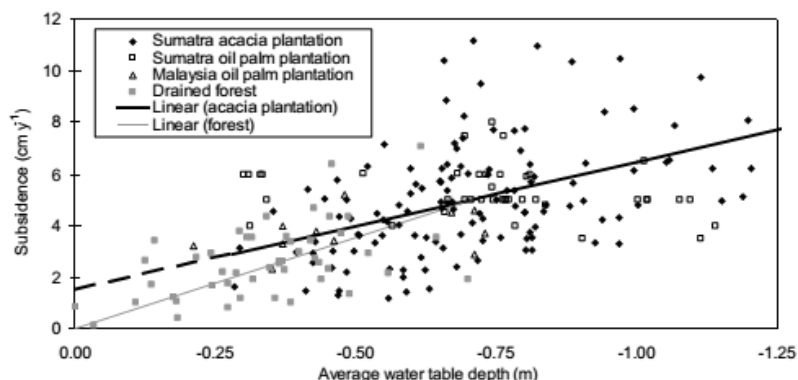
**Peralatan untuk pemantauan**

Untuk pemantauan tinggi muka air di lahan dianjurkan untuk menggunakan sumur pantau.

Keuntungan mendasar penggunaan sumur pantau dibandingkan dengan teknik atau peralatan lainnya adalah kemudahannya untuk dipasang dan bahan serta harganya mudah diperoleh dan murah. Selain itu dengan jumlah peralatan yang relatif sedikit dapat mengetahui kondisi hidrologi suatu lokasi (Bonnet, S. A. dkk., 2009).

Penggunaan istilah sumur pantau sebagai alat pengukur tinggi muka air pada permukaan lahan sering rancu dengan piezometer. Perbedaan keduanya adalah mengenai perforasi atau lubang-lubang pada pipa yang memungkinkan air bisa masuk ke dalam sumur. Piezometer hanya mempunyai perforasi pada bagian bawah pipa sedangkan sumur pantau mempunyai perforasi di sepanjang pipa dari bagian bawah sampai beberapa sentimeter di bawah permukaan tanah (lihat Gambar 6 dan 7). Secara teknis muka air yang terukur pada sumur pantau menunjukkan elevasi muka air pada lahan sedangkan muka air yang terukur pada piezometer lebih menunjukkan perbedaan tekanan pada posisi yang lebih dalam dari permukaan air (Sprecher, S. W., 2000).

Bonnet, S. A. dkk. (2009) memberikan anjuran bahwa kedalaman sumur harus cukup untuk memungkinkan pengukuran berbagai fluktuasi muka air. Tinggi muka air selama musim kemarau mungkin berada di bawah dasar sumur pantau jika posisi sumur terlalu dangkal. Sumur pantau hendaknya dipasang hingga mencapai lapisan tanah mineral di bawah gambut. Sumur pantau tertanam di tanah mineral sekurangnya sedalam 30 cm (Perbatakusuma dkk., 2014). Dengan teknik pemasangan seperti ini, posisi ketinggian permukaan sumur pantau tidak bergeser dan memungkinkan melakukan pemantauan setiap perubahan tinggi muka air.



Sumber: Hooijer, A. dkk, (2012)

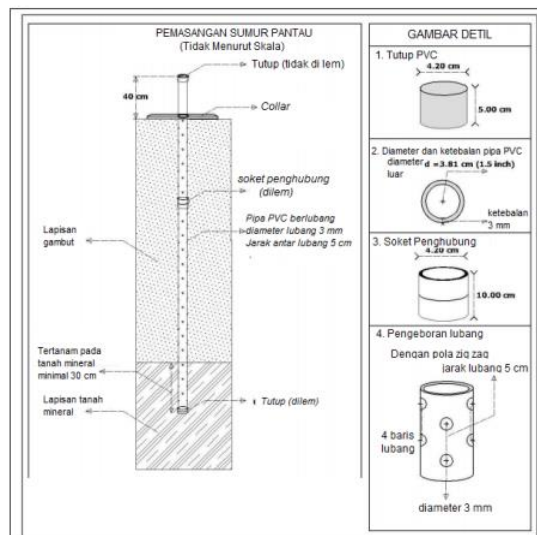
**Gambar 5** Grafik korelasi antara tinggi muka air dan laju subsiden pada lahan akasia dan kelapa sawit

Bonnet, S. A. dkk. (2009) memberikan anjuran bahwa kedalaman sumur harus cukup untuk memungkinkan pengukuran berbagai fluktuasi muka air. Tinggi muka air selama musim kemarau mungkin berada di bawah dasar sumur pantau jika posisi sumur terlalu dangkal. Sumur pantau hendaknya dipasang hingga mencapai lapisan tanah mineral di bawah gambut. Sumur pantau tertanam di tanah mineral sekurangnya sedalam 30 cm (Perbatakusuma dkk., 2014). Dengan teknik pemasangan seperti ini, posisi ketinggian permukaan sumur pantau tidak bergeser dan memungkinkan melakukan pemantauan setiap perubahan tinggi muka air.

Kinerja sumur pantau harus diuji setelah pemasangan dan secara berkala selama periode pemantauan. Pengujian dapat dilakukan dengan cara (1) memompa air keluar dari sumur, atau (2) menambahkan air ke sumur, dan kemudian memantau seberapa cepat tinggi muka air sumur kembali ke tinggi semula sebelum pengujian. Lama waktu yang diperlukan untuk mengembalikan muka air ke kondisi awal kurang lebih sama dengan pemulihan pada lubang yang baru digali pada tanah yang ada di dekat sumur pantau. (Minnesota Board of Water and Soil Resources, 2013).

Untuk dapat menerapkan sistem pengelolaan tata air yang optimal selain pemantauan muka air di lahan juga diperlukan pemantauan muka air di saluran dan sungai. Dari pemantauan elevasi muka air di lahan dan saluran akan didapatkan seri data elevasi muka air pada beberapa titik pengamatan baik di lahan yang terukur pada sumur pantau maupun elevasi muka air di saluran. Hasil Pengamatan Sosiawan, H. dkk. (2014) menunjukkan variasi temporal elevasi muka air di lahan mempunyai kecenderungan pergerakan fluktuasi yang relatif sama dengan elevasi muka air sungai dan saluran tersier. Data rekaman elevasi muka air dapat digunakan sebagai bahan masukan dalam pengelolaan air lahan gambut (Runtuuwu, E. dkk., 2011).

Alat pemantauan elevasi muka air di saluran berupa rambu ukur (pelskal) yang terpasang pada tiang penyangga secara permanen pada beberapa titik pengamatan. Setiap rambu ukur yang terpasang mengacu pada ketinggian referensi yang sama. Pengamatan elevasi muka air di saluran dilakukan dengan mencatat kedalaman air yang terbaca di rambu ukur (pelskal) yang terpasang di saluran (lihat Gambar 8). Pengukuran tinggi muka air pada lahan dan saluran tersebut hendaknya dilakukan pada waktu yang sama (Runtuuwu, E. dkk., 2011).



Sumber: Perbatakusuma, a dkk (2014)

**Gambar 6** Contoh desain dan pemasangan sumur pantau



Sumber: Nasrul Ichsan dkk. (2013)

**Gambar 7** Contoh sumur pantau ( )



**Gambar 8** Contoh papan duga (Pelskal).

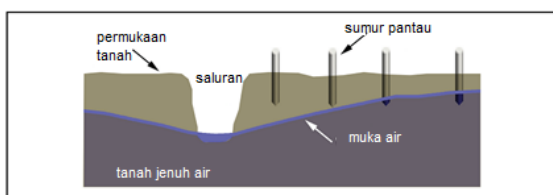


**Pola Penempatan Peralatan Pemantau**

Hollis G.E. dan Thompson, J.R. (1998) memberikan saran untuk monitoring lahan basah dengan prinsip umum untuk meletakkan sumur pantau di tengah-tengah 'sebidang tanah', yang dibatasi oleh kontrol hidrologi. Sebidang tanah yang dimaksud adalah sebidang lahan yang di dibatasi oleh parit drainase atau pengatur hidrologi lainnya.

Tinggi muka air pada lahan setelah dibangunnya saluran drainase tidak akan rata melainkan mendapatkan pengaruh dari saluran drainase atau yang lebih dikenal sebagai *lateral effect* (lihat Gambar 9). Estimasi besarnya pengaruh saluran dengan menggunakan persamaan ellips atau Schilfgaarde dapat memberikan petunjuk dimana posisi sumur pantau harus dipasang (Noble, C.V., 2006).

Untuk mengetahui pengaruh lateral (*lateral effect*), sumur pantau dipasang sedemikian rupa sehingga membentuk transek yang arahnya tegak lurus terhadap arah aliran (Noble, C. V., 2006). Ilustrasi pemasangannya dapat dilihat pada Gambar 10. Pemasangan dengan pola tersebut akan memberikan informasi tentang bentuk muka air di lokasi tersebut (Bonnet, S. A. dkk., 2009). Pemasangan sumur pantau dengan pola tegak lurus arah aliran tersebut dapat digunakan untuk membuat profil dua dimensi dari tinggi muka air (Gilvear dan Bradley, 2000).



Sumber: Noble, C.V. (2006)

**Gambar 10** Diagram peletakan sumur pantau untuk mengetahui kondisi hidrologi lahan basah yang berasosiasi dengan kanal drainase

Jika efek lateral ini menyebabkan selisih tinggi muka air antara bagian tengah dan bagian tepi mempunyai selisih yang signifikan, maka penempatan sumur pantau perlu dikaji. Penggunaan satu sumur pantau untuk satu bidang lahan seperti pendekatan Hollis G.E. dan Thompson, J.R. (1998) mungkin kurang memadai.

Suatu ujicoba pengamatan efek lateral diperlukan untuk mengetahui secara pasti besarnya efek lateral ini. Jika akhirnya bisa diketahui dan hasilnya menunjukkan selisih yang signifikan, penempatan sumur pantau dengan pola transek pendek dengan menempatkan 3 atau 4 sumur pantau secara berjajar dari tepi saluran ke tengah bidang lahan akan menjadi standard di dalam penempatan sumur pantau untuk perkebunan di lahan rawa gambut.

Pemasangan papan duga (pelskal) merupakan metode yang relatif sederhana untuk mengukur tingkat air permukaan secara akurat. Harus dipastikan bahwa papan duga (pelskal) harus tidak dipasang pada lokasi yang ada pusaran air yang dapat menghasilkan pembacaan yang salah. Sebaiknya papan duga dipasang pada bagian saluran yang memiliki aliran yang relatif pelan (Environment Agency, 2003).

Masalah umum ketika memasang papan duga pada lahan basah adalah menemukan cara untuk memastikan posisinya tidak bergeser, sehingga pembacaan permukaan air dapat dilakukan secara konsisten dan terikat ke suatu datum yang tetap. Pada pemasangan pada media yang relatif lunak seperti seperti gambut, sebaiknya pemasangan bertumpu pada batang baja yang ditancapkan sampai mencapai tanah mineral (Environment Agency, 2003).

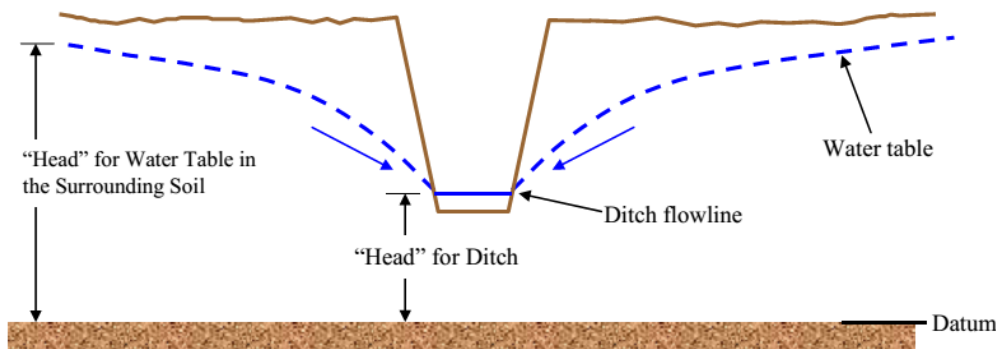


Figure 2. Typical water table gradients towards a drainage ditch.

**Gambar 9** Pengaruh saluran air terhadap elevasi muka air pada lahan

Baik papan duga (pelskal) maupun sumur pantau yang digunakan untuk pemantauan pada satu lokasi harus mempunyai titik acuan vertikal (datum) yang sama. Dengan datum yang sama, memungkinkan muka air tanah dan muka air permukaan dapat secara langsung dibandingkan (Environment Agency, 2003).

**Jumlah Peralatan Pemantau**

Jumlah sumur pantau yang dipasang akan tergantung pada kompleksitas hidrologi (misalnya jumlah saluran), dan ukuran wilayah pemantauan (Bonnet, S.A. dkk., 2009). Tujuan penelitian dan karakteristik lokasi penelitian akan menentukan jumlah sumur yang diperlukan. Sebuah studi hidrologi tidak selalu membutuhkan jumlah sumur pantau yang banyak. Perlu diingat bahwa penambahan jumlah sumur pantau akan menambah biaya untuk pengadaan material, biaya instalasi dan pemeliharaan, dan waktu yang diperlukan untuk mengumpulkan dan menganalisis data juga bertambah (Noble, C.V., 2006).

Sumber daya yang harus tersedia untuk mengamati sumur pantau juga harus menjadi pertimbangan untuk menentukan jumlah sumur pantau yang dipasang. Biasanya, 10-15 sumur pantau dianggap cukup untuk pemantauan pada proyek dengan kompleksitas hidrologi yang sederhana (Bonnet, S.A. dkk., 2009). Dalam keadaan yang sangat minimal, setidaknya tiga titik pemantauan yang diatur dalam posisi segitiga diperlukan untuk menetapkan arah aliran dalam gambut (Environmental Agency, 2003).

Pemasangan sumur pantau dengan pola bersarang atau duplikasi sumur pada kedalaman dan lokasi yang sama biasanya tidak diperlukan. Sumur pantau tunggal sudah cukup jika sumur terpasang dengan benar dan dipelihara dengan baik (Noble, C.V., 2006).

Untuk menentukan jumlah sumur pantau yang akan dipasang untuk keperluan monitoring, dapat dilakukan dengan pendekatan secara statistik. Yang paling sederhana adalah dengan menggunakan tabel yang disusun oleh Krejcie, dkk. (1970) untuk menentukan jumlah sampel minimum. Cara lain adalah dengan menggunakan rumus Slovin seperti uraian oleh Yamane, T. (1967) sebagai berikut:

$$n = \frac{N}{1 + N\alpha^2} \dots\dots\dots(3)$$

Penempatan papan duga pada saluran yang bersesuaian dengan posisi sumur pantau akan memudahkan pembacaan. Sebaiknya posisi skala pada papan duga dikalibrasi

dengan posisi sumur pantau dan ketinggian permukaan tanah. Dengan referensi pengukuran yang sama, pengelola kebun dapat memperoleh gambaran secara cepat tinggi muka air di lahan berdasarkan pembacaan tinggi muka air di saluran (National Engineering Handbook, 2001). Secara skematis, penempatan papan duga dan sumur pantau dapat dilihat pada Gambar 12.

Dengan, n adalah jumlah sampel, N adalah jumlah populasi dan α adalah derajat kepercayaan.

Sebagai dasar perhitungan jumlah sampel minimum, maka yang dianggap sebagai populasi adalah blok-blok tanam. Pendekatan ini sesuai dengan pendapat Hollis dan Thompson (1998) yang menyatakan bahwa alat pemantau diletakkan pada sebidang tanah yang dibatasi oleh kontrol hidrologi. Dalam hal ini, blok-blok tanam merupakan lahan yang dibatasi oleh kontrol hidrologi (saluran drainase).

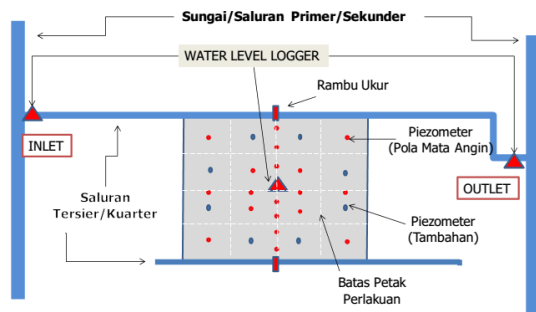
Karena jumlah alat pemantauan juga tergantung pada kompleksitas hidrologi (Bonnet, S.A. dkk., 2009), penghitungan jumlah sampel minimal tidak selalu berasumsi bahwa seluruh populasi memiliki sifat seragam. Dianjurkan untuk melakukan pengelompokan populasi menjadi beberapa bagian jika diketahui terdapat variasi lingkungan yang mempengaruhi kondisi hidrologi. Dengan demikian penghitungan jumlah sampel minimal dilakukan secara proporsional.

Jumlah pemasangan papan duga atau pelskal disesuaikan dengan jumlah sumur pantau. Dalam hal ini, posisi papan duga diletakkan pada kanal yang letaknya bersesuaian dengan posisi sumur pantau. Desain pada Gambar 11 berikut ini antara lain digunakan oleh Sosiawan, H. dkk. (2014) untuk mengamati dinamika muka air pada lahan dan saluran.

Penempatan papan duga pada saluran yang bersesuaian dengan posisi sumur pantau akan memudahkan pembacaan. Sebaiknya posisi skala pada papan duga dikalibrasi dengan posisi sumur pantau dan ketinggian permukaan tanah. Dengan referensi pengukuran yang sama, pengelola kebun dapat memperoleh gambaran secara cepat tinggi muka air di lahan berdasarkan pembacaan tinggi muka air di saluran (National Engineering Handbook, 2001). Secara skematis, penempatan papan duga dan sumur pantau dapat dilihat pada Gambar 12.

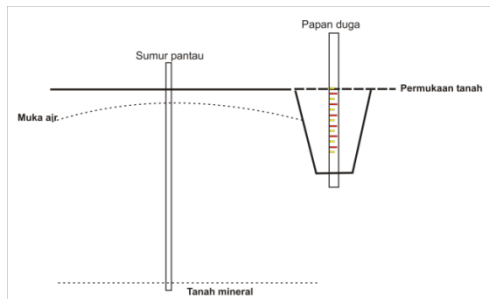
Tinggi muka air dapat diukur secara manual atau menggunakan alat otomatis (**Gambar 13**). Alat otomatis (*data logger*), memiliki keuntungan karena dapat mengambil data sesering mungkin tanpa perlu sering mendatangi titik pengukuran. Kelemahan penggunaan alat otomatis adalah

biaya awal yang cukup tinggi. Pengukuran manual juga akurat dan dapat diandalkan, tetapi memerlukan konsistensi, jadwal yang teratur dan kunjungan ke titik pengamatan secara teratur. Pilihan untuk menggunakan pengukuran manual sangat tergantung pada, akses menuju titik pengamatan dan ketersediaan personil (Minnesota Board of Water and Soil Resources, 2013).



Sumber: Sosiawan, H. dkk. (2014)

**Gambar 11** Tata letak penempatan sumur pantau dan papan duga



Sumber: National Engineering Handbook (2001)

**Gambar 12** Pemasangan sumur pantau dan papan duga dan metode kalibrasinya pada saluran terbuka

Penerapan kombinasi antara metode pengukuran/ pencatatan secara manual dan secara otomatis akan memberikan keuntungan dari kedua metode tersebut. Penggunaan pencatat otomatis pada lokasi yang jauh akan menghemat waktu, dan jika alat otomatis dipasang pada area yang berpotensi mempunyai fluktuasi tinggi muka air yang besar dan berlangsung cepat akan memberikan data yang lebih akurat.

**Pemeliharaan Peralatan**

Sumur pantau dapat tersumbat oleh sedimen atau karena adanya pertumbuhan organisme seperti lumut yang dapat menyumbat lubang pada sumur pantau. Penyumbatan ini dapat mengurangi konektivitas dari sumur pantau dengan akuifer sehingga menciptakan

pelambatan respon yang tertunda antara muka air di dalam sumur dengan *hydraulic head* pada akuifer. Untuk mencegah hal ini, sumur pantau harus dikuras secara berkala untuk menguji dan menjaga konektivitas dengan sumur pantau dengan akuifer (Rosenberry D.O. dan LaBaugh, J.W., 2008).

Papan duga atau sumur pantau dapat juga menjadi obyek vandalisme atau pengrusakan oleh orang yang tidak bertanggung jawab. Kerusakan alat ukur dapat menghasilkan data yang tidak akurat, terlebih lagi jika kerusakan tersebut mempengaruhi atau merubah posisi ketinggian alat ukur. Untuk menghindari perubahan elevasi alat ukur, Rosenberry D.O. dan LaBaugh, J.W. (2008) menyarankan dilakukannya survei elevasi setiap 1 tahun untuk mendokumentasikan perubahan elevasi alat ukur dan mengkalibrasikannya kembali.

**Gambar 13** Contoh model alat pencatat tinggi muka air otomatis dan cara instalasinya

### Pengaturan Tinggi Muka Air

Pemasangan tabat atau bendungan secara berjenjang pada saluran merupakan salah satu metode untuk mengatur tinggi muka air pada lahan gambut. Simulasi dengan permodelan hidrologi menunjukkan bahwa tabat berjenjang dengan jarak yang rapat efektif untuk mengatur drainase (Wösten J.H.M. dan Ritzema, H.P., 2001).

Jarak antar tabat ditentukan dengan melihat perbedaan tinggi muka air pada saluran drainase antara bagian hulu dan bagian hilir atau ditentukan oleh tingkat kemiringan (*slope*) muka air di dalam kanal, termasuk kondisi topografi/kontur di lahan tersebut. Untuk proses pembangunan tabat harus dilakukan pada kubah gambut yang memiliki elevasi tertinggi menuju ke bagian bawah yang merupakan kaki kubah gambut. Urutan pelaksanaan ini tidak boleh dibalik untuk menghindari kendala-kendala teknik yang mungkin terjadi, dan harus dilakukan ketika musim kemarau tiba. Jarak antar tabat ditentukan Percobaan lapangan menunjukkan bahwa untuk kanal kecil perbedaan tinggi maksimal sekitar 25 cm untuk mengurangi rembesan dan mencegah erosi (Jaenicke, J. dkk., 2010).

Lim, K.H. dkk. (2012) menyarankan bahwa tabat atau bendungan dan struktur untuk mengendalikan arus air harus dipasang di lokasi-lokasi strategis di sepanjang saluran air utama dan saluran koleksi. Untuk kondisi parit yang berlokasi pada lahan gambut dengan kemiringan yang cukup curam maka jumlah sekat yang perlu dibangun di dalam saluran harus cukup banyak dengan jarak sekat tidak terlalu jauh (*cascading*), yaitu antara 100 – 200 meter/sekat. Menurut Best Practice RSPO (*Roundtable on Sustainable Palm Oil*) tahun 2013 – dan sudah menjadi kriteria yang berlaku di daerah rawa pada umumnya, menyarankan agar pemasangan tabat berjenjang diterapkan pada setiap penurunan muka air (gradien hidrolik) 20 cm. Hal ini perlu dilakukan sebagai salah satu cara untuk memperpanjang umur sekat sehingga kekuatan arus yang jatuh dari ketinggian yang cukup curam akan berkurang kekuatannya karena teredam pada masing-masing sekat. Sementara, jarak antar masing-masing sekat cukup luas sehingga dapat dimanfaatkan sebagai penyimpanan air, sekat bakar maupun kolam ikan.

Umumnya tabat juga dilengkapi dengan ambang/pelimpah dan biasanya dibuat di tengah-tengah tabat yang berfungsi untuk membuang / mengalirkan kelebihan air ke bagian hilir tabat. Elevasi ambang sekat kanal umumnya diambil setinggi muka lahan rata-rata di sekitar tabat. Ambang ini biasanya diterapkan pada kawasan

budidaya sedangkan tabat tanpa ambang digunakan untuk kawasan non-budidaya.

Perlu dilakukan tidak lanjut berupa suatu uji coba pengamatan besarnya efek lateral dari saluran drainase terhadap tinggi muka air di lahan. Jika akhirnya diketahui dari ujicoba tersebut, terdapat kecenderungan efek lateral menjadikan selisih tinggi muka air bagian tengah lahan dan yang dekat saluran mempunyai selisih yang besar maka penempatan sumur pantau perlu disesuaikan. Penempatan sumur pantau dengan pola transek pendek mungkin diperlukan. Pengukuran dilakukan dengan interval 1 minggu. Disarankan untuk menggunakan kombinasi antara metode pengukuran manual dengan pencatatan secara otomatis.

### KESIMPULAN

Dari pembahasan di atas dapat ditarik suatu kesimpulan sebagai bahwa penggunaan sumur pantau adalah metode yang efektif untuk melakukan pemantauan tinggi muka air pada lahan gambut, termasuk untuk pemantauan di lahan perkebunan karena mudah dipasang, bahan mudah diperoleh, harganya murah dan cukup akurat. Di samping itu, dengan jumlah peralatan yang relatif sedikit dapat mengetahui kondisi hidrologi suatu lokasi.

Sumur pantau sebagai alat pemantau muka air diletakkan di tengah-tengah lahan yang berada dalam kontrol hidrologi. Dalam hal ini, sumur pantau diletakkan di tengah-tengah blok tanam, yang umumnya berukuran 300 x 1000 meter atau sesuai dengan ketentuan perusahaan pemegang konsesi. Untuk mengamati tinggi muka air pada saluran dilakukan pemasangan pelskal dengan posisi pada saluran yang bersesuaian dengan pemasangan sumur pantau.

Jumlah minimal titik pengamatan (jumlah sumur pantau dan pelskal) ditentukan secara statistik baik dengan asumsi seluruh lahan perkebunan mempunyai karakteristik serupa atau secara proporsional jika diasumsikan lahan perkebunan memiliki karakteristik lingkungan yang bervariasi. Menurut Peraturan Menteri KLHK Nomor P 15 (2017) paling sedikit 15 % (lima belas perseratus) dari seluruh jumlah petak tanaman pokok atau blok produksi.

Tinggi muka air dapat diukur secara manual atau menggunakan alat otomatis. Alat otomatis memiliki keuntungan dapat mengambil data sesering mungkin tanpa perlu sering mendatangi titik pengukuran. Pencatat otomatis pada lokasi yang jauh akan menghemat waktu, dan jika dipasang pada area yang berpotensi mempunyai fluktuasi tinggi muka air yang besar dan berlangsung cepat akan memberikan data yang

lebih akurat. Kelemahannya adalah biaya awal yang cukup tinggi. Pengukuran manual juga akurat dan dapat diandalkan, tetapi memerlukan konsistensi, jadwal yang teratur dan kunjungan ke titik pengamatan secara teratur.

Frekuensi pengamatan dilakukan dengan periode mingguan. Pengamatan tinggi muka air pada sumur pantau dan pelskal dilakukan pada waktu yang bersamaan. Pembuatan bendungan atau tabat dilakukan untuk mengatur tinggi muka air. Jarak antar tabat yang disarankan adalah setiap perbedaan tinggi muka air 20 cm.

### UCAPAN TERIMA KASIH

Ucapan terima kasih disampaikan kepada Balai Litbang Rawa, Puslitbang Sumber Daya Air yang telah memberikan dukungan dan semua sarana yang diperlukan untuk melakukan kajian ini. Terima kasih juga disampaikan kepada Sdr. Dandun Sutaryo yang telah membantu mengumpulkan bahan kajian dan editing.

### DAFTAR PUSTAKA

- Adinugroho, W. C., I N.N. Suryadiputra, Bambang Hero Saharjo dan Labueni Siboro, 2004. *Panduan Pengendalian Kebakaran Hutan dan Lahan Gambut*. Bogor: Wetlands International
- Agus, F. 2009. "Cadangan karbon, emisi gas rumah kaca dan konservasi lahan gambut." *Prosiding Seminar Dies Natalis Universitas Brawidjaya ke 46*, 31 Januari 2009, Malang.
- Agus, F., I G.M. Subiksa, Wahyunto, 2012. *Pengelolaan Lahan Gambut*. Dalam: Janudianto (ed). *Membangun Kembali Aceh: Belajar dari Hasil Penelitian dan Program Rehabilitasi Aceh Pasca Tsunami*, World Agroforestry Center. Hlm. 37-58.
- Ambak, Kamarudin and Lulie Melling, 2000. "Management Practices for Sustainable Cultivation of Crop Plants on Tropical Peatland." *Proceedings of The International Symposium on TROPICAL PEATLANDS* Bogor, Indonesia, 22-23 November 1999. Hokkaido University & Indonesian Institute of Sciences pp. 119-134 (2000).
- Andriesse, J.P., 1988. "Nature and Management of Tropical Peat Soils." *Food and Agriculture Organization of the United Nations Soils Bulletin* no. 59. FAO.
- Armentano, T.V. and Menges, E.S., 1986: "Patterns of change in the carbon balance of organic soilwetlands of the temperate zone." *Journal of Ecology*, 74, 755-774.
- Balai Besar Penelitian dan Pengembangan Sumberdaya Lahan Pertanian. 2008. Laporan Tahunan 2008, *Konsorsium Penelitian dan Pengembangan Perubahan Iklim pada Sektor Pertanian*. Balai Besar Penelitian dan Pengembangan Sumberdaya Lahan Pertanian, Bogor.
- Bonnett, S. A., Ross, S., Linstead, C. and Maltby, E. and NaturalEngland (2009) A review of techniques for monitoring the success of peatland restoration. Technical Report. Natural England, SWIMMER.
- Bragg, O.M. (2002): "Hydrology of peat-forming wetlands in Scotland." *The Science of the Total Environment* 294 (2002) 111-129.
- Dommain,R., J. Couwenberg and H. Joosten, 2010. "Hydrological Self-regulation of Domed Peatlands in South-east Asia and Consequences for Conservation and Restoration." *Mires and Peat*, Volume 6 (2010), Article 05, 1-17, ISSN 1819-754X .
- Furukawa Y, Inubushi K, Ali M, Itang AM, Tsuruta H, 2005. "Effect of changing groundwater levels caused by land-use changes on greenhouse gas fluxes from tropical peat lands." *Nutr Cycl Agroecosyst* 71:81-91.
- Germer, J., dan J. Sauaerborn. 2008. "Estimation of the impact of oil palm plantation establishment on greenhouse gas balance." *Environ. Development Sustainability* 10:697-716.
- Gilvear and Bradley, 2000. "Hydrological Monitoring and Surveillance for Wetland Conservation and Management a UK Perspective. *Physics and Chemistry of the Earth* (B), Vol. 25, No. 7-8, pp. 571-588, 2000.
- Hardjowigeno. S, 2003. *Ilmu Tanah*. Jakarta: Penerbit Akademika Pressindo.
- Holden, J., M. G. Evans, T. P. Burt and M. Horton. 2006. "Impact of Land Drainage on Peatland Hydrology." *Journal of Environmental Quality* 35: 1764-1778.
- Hollis, G.E. and Thompson, J.R. (1998): "Hydrological Data for Wetland Management." *Water and Environment Journal* 12(1) 9-17.
- Hooijer, A., Silviu, M., Wösten, H., Page, S. 2006. PEAT-CO2, Assessment of CO2 emissions from drained peatlands in SE Asia, Delft Hydraulics report Q3943.
- Hooijer, A., S. Page, J. Jauhiainen, W. A. Lee, X. X. Lu, A. Idris and G. Anshari. 2012. "Subsidence and carbon loss in drained tropical peatlands." *Biogeosciences*, 9, 1053-1071, 2012.

- Huat, Bujang B.K., Arun Prasad, Afshin Asadi, Sina Kazemian, 2014. *Geotechnics of Organik Soils and Peat*. CRC Press/Balkema. ISBN: 978-0-203-38630-9 (e-book PDF).
- Jaenicke, J., Henk Wösten, Arif Budiman and Florian Sieger, 2010. "Planning hydrological restoration of peatlands in Indonesia to mitigate carbon dioxide emissions." *Mitig Adapt Strateg Glob Change* (2010) 15:223–239.
- Jauhiainen J, Limin S, Silvennoinen H, Vasander H 2008: "Carbon dioxide and methane fluxes in drained tropical peat before and after hydrological restoration." *Ecology*, 89, 3503–3514.
- Kluge B, Wessolek G, Facklam M, Lorenz M, Schwärzel, 2008. "Long-term carbon loss and CO<sub>2</sub>-C release of drained peatland soils in northeast Germany." *European Journal of Soil Science*, 59, 1076-1086.
- Krejcie, Robert V. and D.W. Morgan, 1970. "Determining Sample Size For Research Activities." *Educational And Psychological Measurement*, vol 30 p: 607 -610.
- Letts MG, Roulet NT, Comer NT. 2000. "Parametrization of peatland hydraulic properties for the Canadian land surface scheme." *Atmos. Ocean*. 38: 141- 160.
- Lim, K.H., Lim, S.S, Parish. F. and Suharto, R. (eds) 2012. Summary: *RSPO Manual on Best Management Practices (BMPs) for Existing Oil Palm Cultivation on Peat*. RSPO, Kuala Lumpur.
- Maas, A. 2012. Peluang dan konsekuensi pemanfaatan lahan gambut masa mendatang. Kata Pengantar. Hlm. xvii-xxiii. Dalam M. Noor et al. (Eds.). *Lahan Gambut : Pemanfaatan dan Pengembangannya untuk Pertanian*. Kanisius. Yogyakarta.
- Masganti, T. Notohadikusumo, A. Maas dan B. Radjaguguk. 2002. "Hidrofobitas dan Perubahan Sifat Kimia Bahan Gambut." Hasil Penelitian Intern. Makalah *Seminar HGI IV*, Jakarta. 14 hlm
- Maswar, Fahmuddin Agus, 2014. "Cadangan Karbon dan Laju Subsiden Pada Beberapa Jenis Penggunaan Lahan dan Lokasi Lahan Gambut Tropika Indonesia." *Prosiding Seminar Nasional Pengelolaan Berkelanjutan Lahan Gambut Terdegradasi untuk Mitigasi Emisi GRK dan Peningkatan Nilai Ekonomi*. Penyunting A. Wihardjaka, Eni Maftuah, Salwati, Husnain, Fahmuddin Agus. Badan Penelitian Dan Pengembangan Pertanian Kementerian Pertanian, Bogor.
- Melling, L., Ayob Katimon, Goh Kah Joo, Lah Jau Uyo, Alex Sayok and Ryusuke Hatano. 2007. "Hydraulic Conductivity and Moisture Characteristics of Tropical Peatland" - Preliminary Investigation. In *Proc. Soils Conference on peat and other soil factors in crop production*. Editor: Hamdan J., Goh K.J., Che Fauziah I., Melling L., Ahmad O.H., Jalloh M.B., Sayok A. and Siva K.B. Malaysian Society of Soil Science and Department of Agriculture Sarawak, Sibul, Malaysia.
- Miatkowski Z, Cieslinski Z, Turbiak J. 1999. "Use of agroeclamation ploughing in reclamation of a deeply drained mineral - muck soil." *Agrophys*. 23: 97- 105.
- Minnesota Board of Water & Soil Resources, 2013. *Hydrologic Monitoring of Wetlands*, Supplemental Guidance.
- Najiyati, S., Lili Muslihat dan I Nyoman N. Suryadiputra, 2005. *Panduan pengelolaan lahan gambut untuk pertanian berkelanjutan*. Proyek Climate Change, Forests and Peatlands in Indonesia. Wetlands International – Indonesia Programme dan Wildlife Habitat Canada. Bogor. Indonesia.
- Nasrul Ichsan, Ronald Vernimmen, Aljosja Hooijer, and Grahame Applegate, 2013. *Kalimantan Forest and Climate Partnership (KFCP) Hydrology and Peat Monitoring Methodology*, Technical Paper
- National Engineering Handbook, 2001. Part 264. Drainage. Chapter 10 *Water Table Control*. United States Department of Agriculture, Natural Resources Conservation Service.
- Natural Resources Conservation Services, 2001. National Engineering Handbook, Chapter 10, *Water table Control*.
- Noble, C. V. , 2006. "Water table monitoring project design," WRAP Technical Notes Collection(ERDC TN-WRAP-06-2), U.S. Army Engineer Research and Development Center, Vicksburg, MS. <http://el.erd.c.usace.army.mil>
- Noor, M., Masganti, dan Fahmuddin Agus, 2014. Pembentukan dan Karakteristik Gambut Tropika Indonesia. Dalam: *Lahan Gambut Indonesia Pembentukan, arakteristik, dan Potensi Mendukung Ketahanan Pangan* (Edisi Revisi), Penyunting Fahmudin Agus, Markus Anda, Ali Jamil dan Masganti. IAARD Press, Jakarta. ISBN 978-602-344-034-4.

- Parish, F., A. Sirin, D. Charman, H. Joosten, T. Minayeva, M. Silvius, and L. Stringer (Eds.). 2007. *Assessment on Peatlands, Biodiversity and Climate Change: Main Report*. Global Environment Centre, Kuala Lumpur and Wetlands International, Wageningen.
- Peraturan Pemerintah No. 57 Tahun 2016. Perubahan Atas Peraturan Pemerintah Nomor 71 Tahun 2014 Tentang *Perlindungan dan Pengelolaan Ekosistem Gambut*, Jakarta.
- Perbatakusuma, Erwin A., Mulya Shakti, Muhammad Andre dan Rachman Dedi, 2014. TFCA programme Sumatra. Perkumpulan Gita Buana, Perkumpulan Walestra dan Zoological Society Of London- Ip.
- Rais, D.S. dan Kurnianto, 2015. "Hidrologi Lahan Gambut Indonesia" (presentasi powerpoint). IPN toolbox Tema CSubtema C2. [www.cifor.org/lpn-toolbox](http://www.cifor.org/lpn-toolbox).
- Rezanezhad F, Quinton WL, Price JS, Elrick D, Elliot TR, Heck RJ. 2009. *Examining the effect of pore size distribution and shape on flow through unsaturated peat using computed tomography*. *Hydrol. Earth Syst. Sci.* 13: 1993-2002
- Ritung, Sofyan, Wahyunto, Kusumo Nugroho, Sukarman, Hikmatullah, Suparto dan Chendy Tafakresnanto, 2011. *Peta Lahan Gambut Indonesia Skala 1:250.000*. Edisi Desember 2011. Balai Besar Penelitian dan Pengembangan Sumberdaya Lahan Pertanian Badan Penelitian dan Pengembangan Pertanian. Bogor. ISBN: 978-602-8977-16-6.
- Rosenberry, D.O., and LaBaugh, J.W., 2008, *Field techniques for estimating water fluxes between surface water and ground water*: U.S. Geological Survey Techniques and Methods 4–D2, 128 p.
- RSPO (Roundtable on Sustainable Palm Oil), 2013. *Prinsip dan Kriteria RSPO untuk Produksi Minyak Sawit Berkelanjutan* termasuk Indikator dan Pedoman
- Runtuuwu, E., Budi Kartiwa, Kharmilasari, Kurmen Sudarman, Wahyu Tri Nugroho, dan Anang Firmansyah, 2011. Dinamika Elevasi Muka Air Pada Lahan Dan Saluran Di Lahan Gambut. *Ris.Geo.Tam* Vol. 21, No.2, Juni 2011 (65-73). ISSN 0125-9849, e-ISSN 2354-6638.
- Rydin, H., and J.K. Jeglum, 2006. *The Biology of Peatlands*. Oxford University Press. ISBN 019852871X.
- Sabiham, S., 2000. Kadar Air Kritik Gambut Kalimantan Tengah dalam Kaitannya dengan Kejadian Kering Tidak Balik. *Jurnal Tanah Tropika* 11 : 21 – 30.
- Schumann, M. & Joosten, H. (2008) *Global Peatland Restoration Manual*. Institute of Botany and Landscape Ecology, Griefswald University, Germany. <http://www.imcg.net/docum/prm/prm.htm>
- Sosiawan, H., Budi Kartiwa, Wahyu Tri Nugroho, Haris Syahbuddin, 2014. Variasi Temporal dan Spasial Tinggi Muka Air Tanah Gambut Lokasi Demplot ICCTF Jabiren, Kalimantan Tengah. *Prosiding seminar nasional pengelolaan berkelanjutan lahan gambut terdegradasi untuk mitigasi emisi GRK dan peningkatan nilai ekonomi*. Penyunting: A. Wihardjaka, Eni Maftuah, salwati, Husnain, Fahmuddin Agus. badan Penelitian dan pengembangan Pertanian, Kementerian Pertanian.
- Sprecher, S. W., 2000. *Installing Monitoring Wells/Piezometers in Wetlands*. WRAP Technical Notes Collection, ERDC TN-WRAP-00-02. U.S. Army Engineer Research and Development Center, Vicksburg, MS.
- Stephens, J.G., 1955. Drainage of Peat and Muck Lands. In : *Yearbook of Agriculture 1955*. Editor Alfred Stefferud. United States Department of Agriculture . ISBN-10: 1125193646 ISBN-13: 978-1125193648. . pp: 539-557.
- Suryadiputra, I N.N., Alue Dohong, Roh, S.B. Waspodo, Lili Muslihat, Irwansyah R. Lubis, Ferry Hasudungan, dan Iwan T.C. Wibisono, , 2005. *Panduan Penyekatan Parit dan Saluran di Lahan Gambut Bersama Masyarakat*. *Proyek Climate Change, Forests and Peatlands in Indonesia*. Wetlands 2005. International – Indonesia Programme dan Wildlife Habitat Canada. Bogor.
- Syaufina, L., Nuruddin, A.A., Basyarudin, J., See, L.F., Yusof, M.R.M. 2004. The Effect of Climatic Variation on Peat Swamp Forest Condition and Peat Combustibility. *Journal of Tropical Forest Management*. Vol X. No. 1. 1-14.
- Takahashi H, Usup A, Hayasaka H, Limin, S.H., 2003. Estimation of ground water level in a peat swamp forest as an index of peat/forest fire. In: Osaki M, Iwakuma T, Kohyama, et al (eds) *Proceedings of the international symposium on land management and biodiversity in Southeast Asia*. September 17–20, 2002. pp. 311–314. Bali, Indonesia. Hokkaido university and Indonesian institute of sciences, Sapporo, Japan and Bogor, Indonesia.

- Van De Meene, 1984. Geological Aspects of Peat Formation in The Indonesian-Malaysian Lowlands. *Bulletin Geological Research and Development Centre*, 9, 20-31.
- Wösten JHM, Ismail AB, Van Wijk ALM, 1997. Peat subsidence and its practical implications: a case study in Malaysia. *Geoderma* 78:25–36.
- Wösten JHM, Ritzema HP, 2001. Land and water management options for peatland development in Sarawak, Malaysia. *Int Peat J* 11:59–66.
- Wösten JHM, Hooijer A, Siderius C, Rais DS, Idris A, Rieley JO 2006. Tropical peatland water management modelling of the Air Hitam Laut catchment in Indonesia. *International Journal of River Basin Management*, 4(4), 233–244.
- Yamane, T. 1967. *Statistics, An Introductory Analysis*, 2nd Ed. New York: Harper and Row



