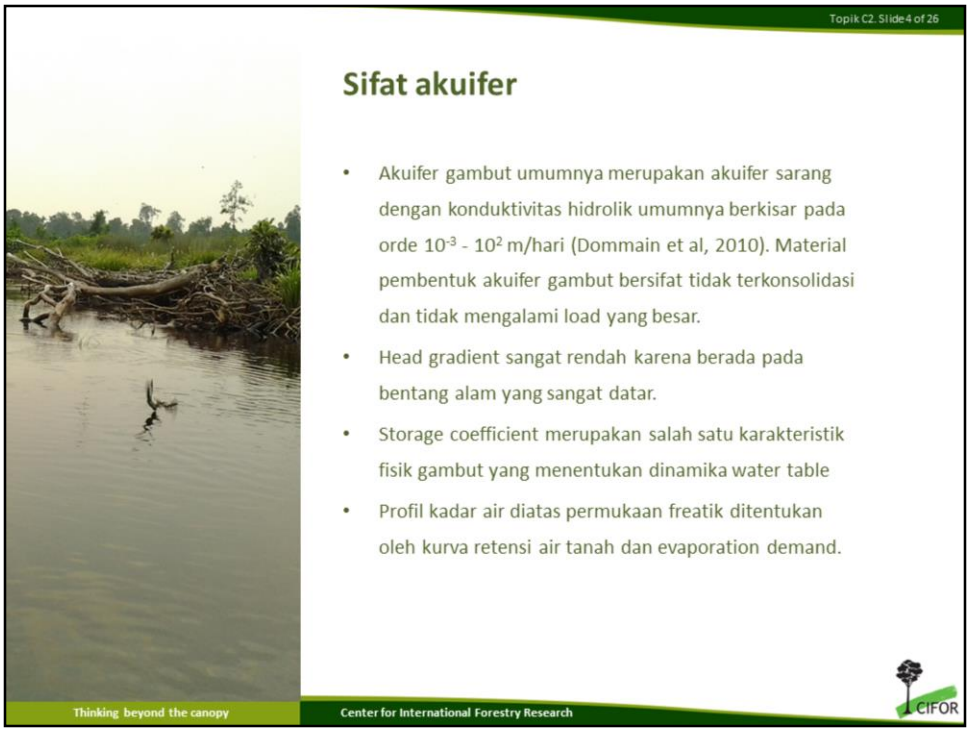
Topik C2 – Hidrologi lahan gambut Indonesia

Sistem hidrologi menentukan kelestarian lahan gambut dan keberlangsungan jasa lingkungannya. Neraca air yang setimbang diperlukan untuk berlangsungnya neraca karbon yang setimbang. Kelestarian jasa lingkungan ekosistem gambut hanya dapat dicapai dengan neraca karbon yang setimbang. Diperlukan tata air yang baik agar kelestarian ekosistem gambut dan layanan jasa lingkungannya tetap lestari

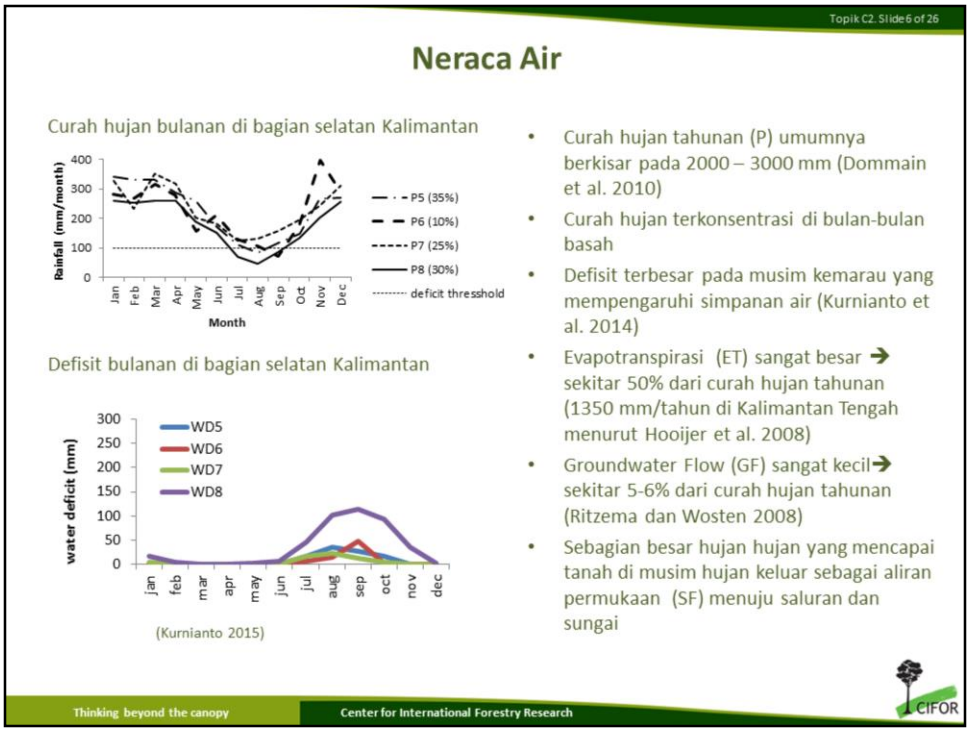
Hidrotopografi lahan gambut adalah karakteristik lahan gambut dalam konteks keruangan muka bumi dan siklus air setempat. Keberadaan lahan gambut Indonesia yang sebagian besar pada elevasi rendah (<20 m dpl, hanya porsi kecil yang merupakan gambut pedalaman dan beradap pada elevasi yang lebih tinggi) menyebabkan sebagian zona gambut mengalami pengaruh pasang surut. Kelerengan <1m/km memberikan sifat pengaliran (air tanah dan overland flow) yang lambat karena rendahnya head gradient. Mikrotopografi yang berbentuk hummock and hollow (sebaran cekungan dan gundukan) menciptakan resistansi yang tinggi terhadap aliran permukaan, sehingga sering terjadi sebaran-sebaran genangan temporer di musim hujan. Adanya sebaran acak hummock dan hollow dan arah aliran permukaan yang cenderung baur menciptakan pola drainase baur pada permukaan lahan gambut. Bentuk lahan yang cembung berakibat pada pembagian zona pengisian di bagian atas kubah dan zona drainase pada kaki kubah, yang mencirikan gambut ombrogenous



Konduktivitas hidrolik (daya hantar aliran air dalam media sarang) tanah gambut umumnya tinggi karena pedogenesis yang berbeda dari tanah mineral. Tingginya konduktivitas hidrolik berperan penting dalam regulasi alam terhadap sistem aliran air tanah pada head gradient (kelerengan energi hidrolik) yang rendah. Kurva retensi air tanah (Water retention curve, kurva hubungan antara energi dan kandungan air tanah) menentukan profil kadar air diatas zona freatik (zona yang berada diatas permukaan air tanah) dan ketersediaan air untuk kebutuhan biologis dan evapotranspirasi (penguapan dari permukaan tanah dan serapan perakaran tumbuhan). Bersama-sama dengan evaporation demand (permintaan evaporasi dalam setiap kondisi aliran energi dalam atmosfir diatas dan antar muka permukaan tanah), kurva retensi air tanah menentukan seberapa dalam deplesi air tanah (penurunan muka air tanah) dan tingkat kekeringan diatas zona freatik.

Hydraulic conductivity (m/d)	Specifications	Reference
0.4	1.5 m below the surface	Takahashi & Yonetani (1997)
0.05 – 2.8		Nughroho *et al.* (1997)
9	estimated for uppermost 1 m of peat	Takahashi & Yonetani (1997)
0.5 – 28	fibrous woody peat	Ong & Yogeswaran (1992)
0.001 – 35	review of measurements in Sarawak peats	Ong & Yogeswaran (1992)
4 – 59	measurements, probably in upper peat layer	DID & LAWOO (1996)
30		Siderius (2004)
10 – 140	review of modelled values	Ong & Yogeswaran (1992)
200	derived from field observations	Hoekman (2007)
116 – 483	fibrous woody peat with preferred flow pathways	Ong & Yogeswaran (1992)

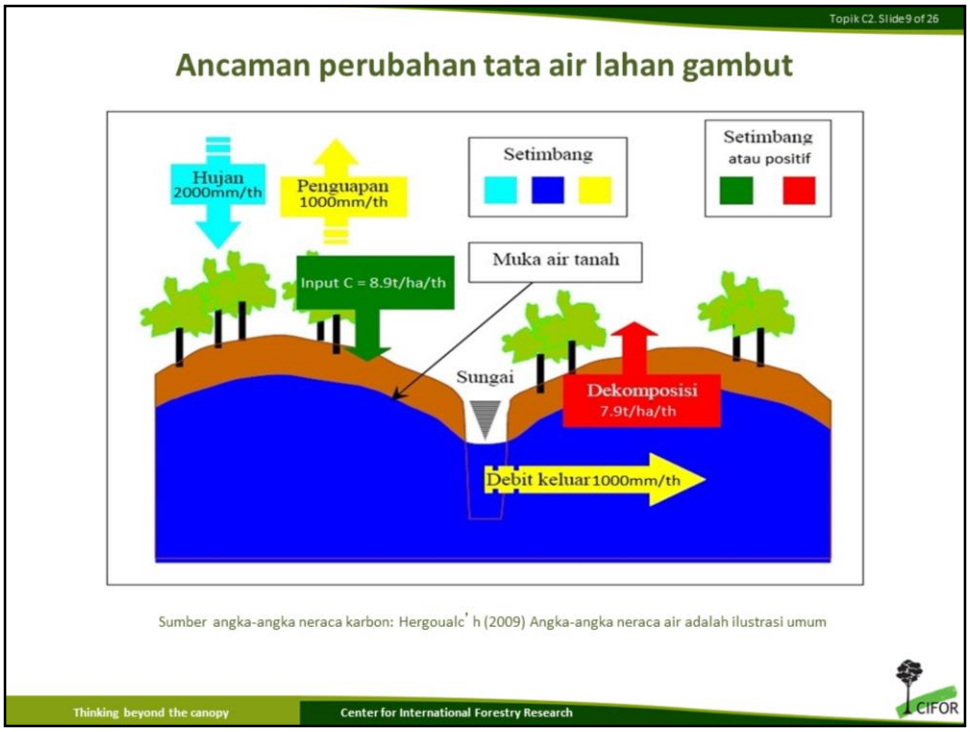
Konduktivitas hidrolik akuifer gambut sangat beragam, tergantung pada kekasaran substrat, tingkat dekomposisi dan humifikasi gambut. Gambut berserat kasar cenderung memiliki konduktivitas hidrolik lebih tinggi dibandingkan yang berserat lebih halus.



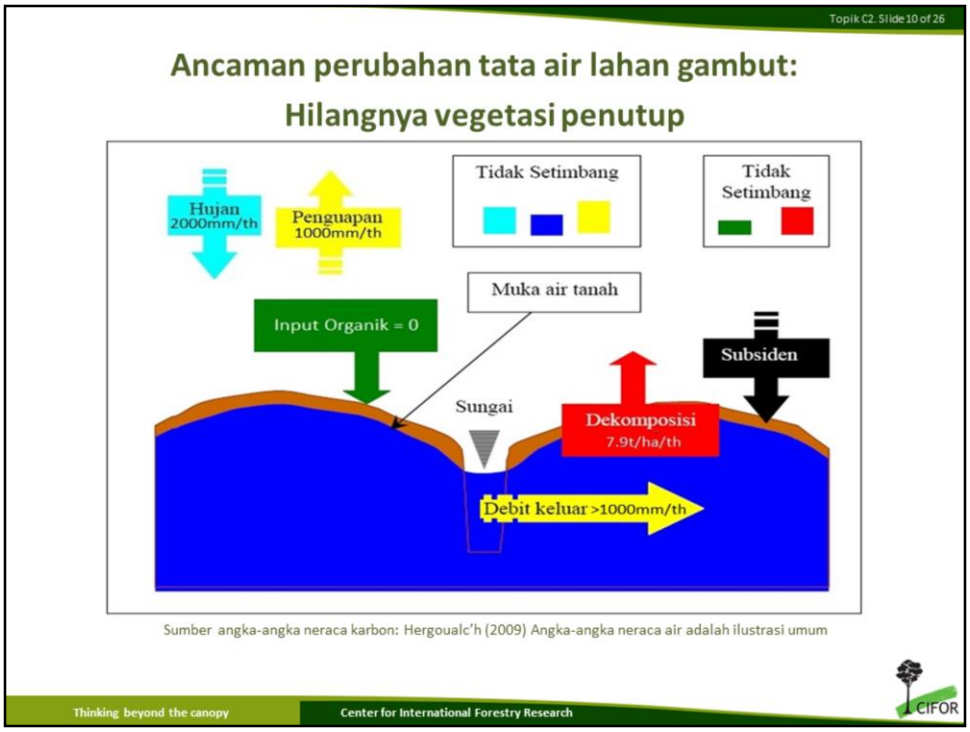
Curah hujan tahunan dalam areal lahan gambut Indonesia umumnya tinggi tetapi tidak merata sepanjang tahun. Hal ini mengakibatkan munculnya periode defisit yang panjang selama musim kemarau. Neraca air hutan rawa gambut Indonesia didominasi oleh limpasan permukaan dan evapotranspirasi. Hanya fraksi kecil yang merupakan ground water flow (aliran air tanah). Kombinasi antara lereng yang sangat landai dan elevasi yang rendah menyebabkan muka air tanah lahan gambut berada sangat dekat di permukaan tanah. Hal ini selanjutnya menyebabkan keadaan jenuh air cepat tercapai pada intensitas hujan yang tinggi terutama di musim hujan. Begitu keadaan jenuh air tercapai hujan yang turun selanjutnya berubah menjadi limpasan permukaan langsung menuju saluran dan sungai

Pembentukan gambut ditentukan oleh laju masukan dan dekomposisi bahan organik, suhu dan kondisi aerasi. Masukan bahan organik untuk pembentukan gambut berasal dari sisa-sisa tumbuhan yang tumbuh diatasnya. Pada kondisi jenuh air, ruang pori gambut ditempati oleh air yang menghambat suplai oksigen yang dibutuhkan dalam proses dekomposisi aerobik sehingga laju dekomposisi aerobik terhambat. Dekomposisi anaerobik tetap berlangsung tetapi dengan laju yang lambat. Sebaliknya, dalam kondisi tidak jenuh ruang pori gambut ditempati oleh udara yang menyediakan suplai oksigen untuk dekomposisi aerobik. Semakin tinggi suhu tanah semakin cepat laju dekomposisi, sesuai dengan hukum Arrhenius.

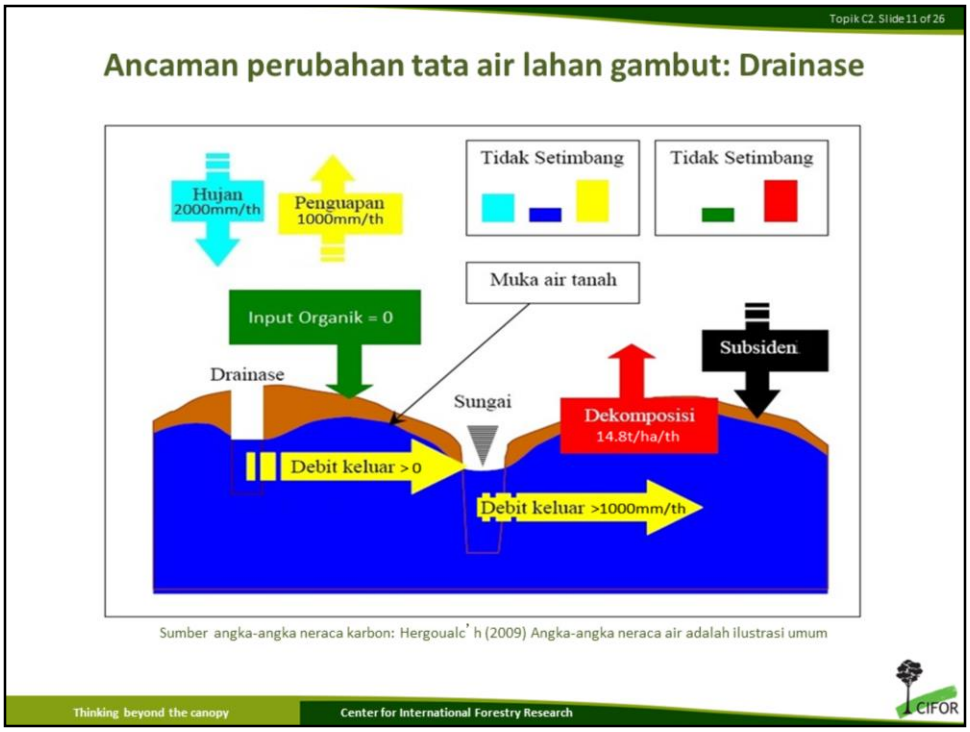
Diperlukan kombinasi geologic setting dan hydrologic setting (kondisi geologi dan hidrologi setempat pada umur geologi yang berpadanan) yang khas dalam proses formasi gambut, mustahil diciptakan secara artifisial pada kondisi geologi dan iklim yang ada sekarang. Landscape yang memungkinkan formasi gambut ditandai oleh keberadaan basin dan fitur alam yang menghambat drainase, seperti coastal basin, dsb. Terdapat hubungan yang sangat erat antara vegetasi-hidrologi-dan tanah gambut. Salah satu karakteristik unik hutan rawa gambut adalah bahwa tanah gambut dimana hutan itu berada dibentuk oleh vegetasi itu sendiri. Contoh saling ketergantungan yang erat ini dapat dilihat dalam bentuk keberadaan zonasi struktur hutan berdasarkan hidrotopografi lahan gambut Sebangau, Kalimantan Tengah dimana tegakan pada puncak kubah memperlihatkan pola tumbuhan yang lebih kerdil dibandingkan pada kaki kubah



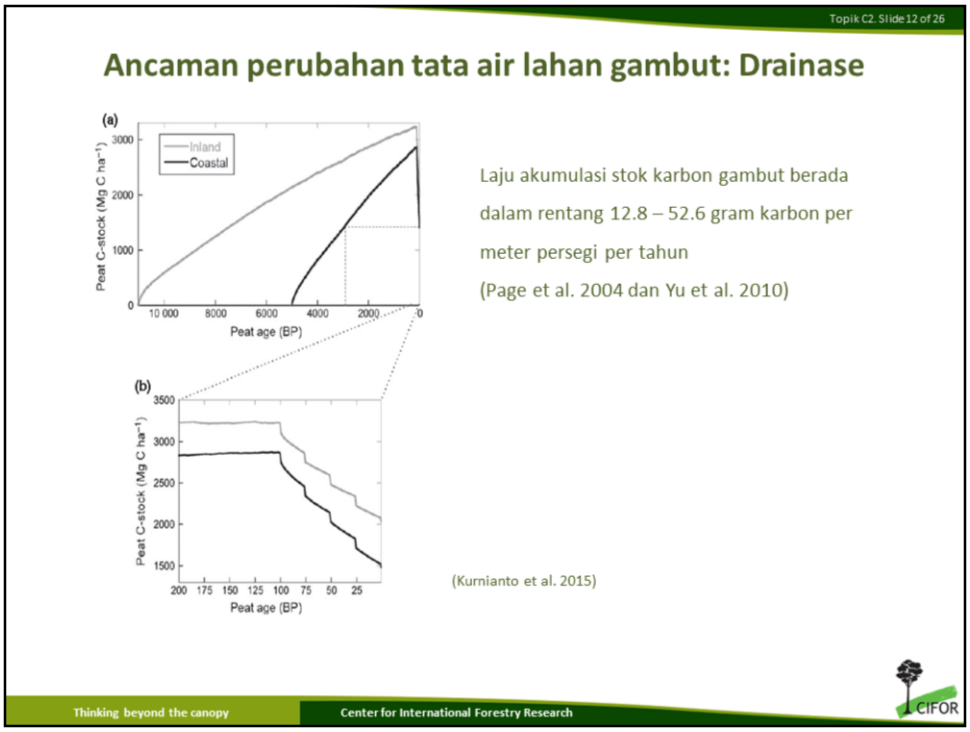
Pada kondisi alami, hutan rawa gambut terdiri atas tiga komponen utama: Vegetasi, Gambut dan Hidrologi. Vegetasi memberikan input bahan organik dan dekomposisi merupakan keluaran dari sistem neraca karbon. Sistem hidrologi ditandai oleh simpanan yang relatif stabil dimana input dari curah hujan disetimbangkan oleh keluaran melalui evapotranspirasi dan aliran ke sungai



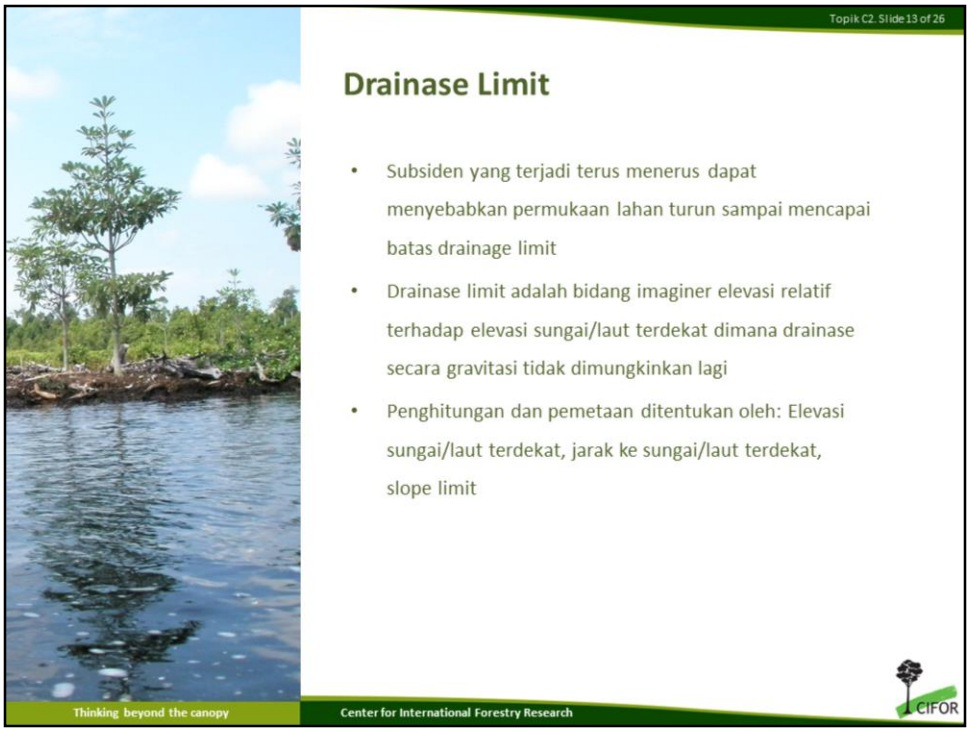
Bila vegetasi dihilangkan dari sistem maka input bahan organik hilang atau berkurang sementara keluaran melalui dekomposisi tetap berlangsung atau bahkan mengalami akselerasi. Akibat yang ditimbulkan adalah terjadinya subsiden dan pelepasan GRK baik melalui dekomposisi mikrobial maupun kebakaran



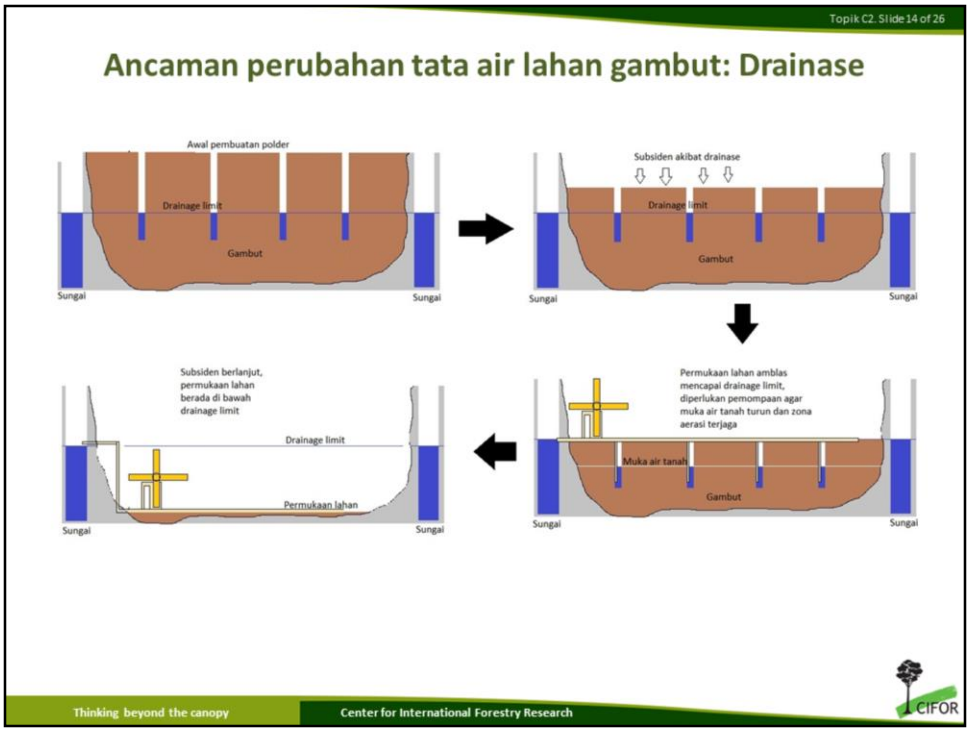
Bila lahan gambut didrainase maka keluaran pada neraca air meningkat, berakibat pada berkurangnya simpanan air tanah yang terlihat dengan turunnya muka air tanah. Dengan turunnya muka air tanah laju dekomposisi gambut meningkat. Akibat yang ditimbulkan adalah terjadinya subsiden dan pelepasan GRK baik melalui dekomposisi mikrobial maupun kebakaran



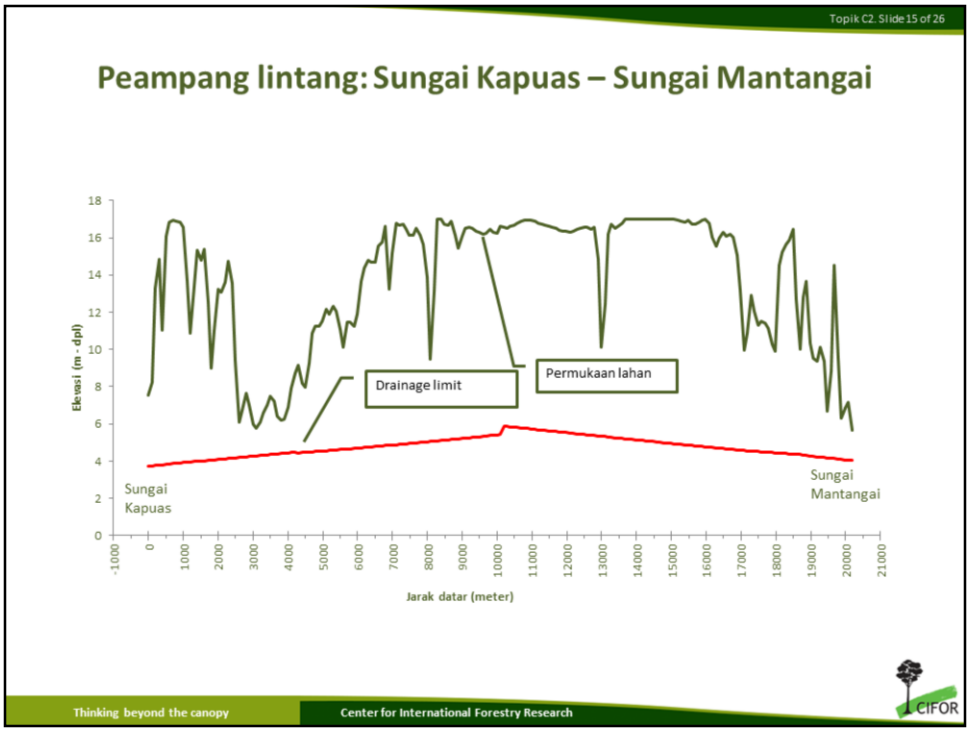
Pembentukan kubah gambut membutuhkan proses akumulasi bahan organik yang terjadi sangat lambat. Namun laju kehilangan karbon dalam kondisi rusak berlangsung sangat cepat. Stok karbon gambut yang membutuhkan ribuan tahun untuk terbentuk dapat mengalami kepunahan hanya dalam waktu puluhan-ratusan tahun.



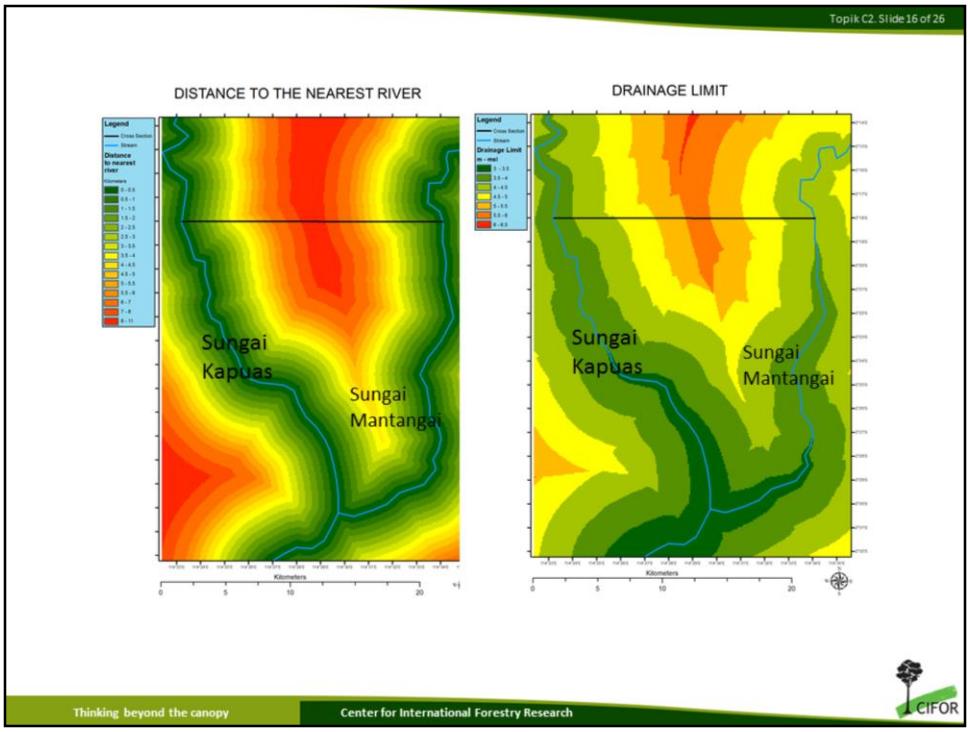
Pada lahan gambut yang didrainase dan dilakukan pendalaman saluran secara berkala maupun on-demand akan terjadi amblasan lahan (subsiden) yang terus menerus. Pada akhirnya permukaan lahan akan turun sedemikian rupa mencapai elevasi dimana drainase secara gravitasi tidak dimungkinkan lagi, kecuali bila dasar gambut terletak lebih tinggi daripada elevasi muka air sungai/laut terdekat dengan slope lebih besar daripada slope limit. Limit elevasi ini disebut drainage limit. Bila drainage limit dicapai atau dilewati diperlukan pemompaan mekanis agar kelebihan air di lahan dapat dibuang, seperti yang terjadi pada polder-polder di negara Belanda.



Polder adalah unit lahan atau usahatani lahan dataran rendah dengan sistem drainase yang khas di Belanda. Pada awal pembentukannya polder masih berada diatas drainage limit, sehingga drainase gravitasi masih memungkinkan. Setelah didrainase terjadi amblasan lahan yang terus menerus selama ratusan tahun. Dengan terjadinya amblasan lahan ini drainage limit akhirnya tercapai dan drainase gravitasi tidak memungkinkan lagi. Dengan demikian diperlukan drainase mekanis secara terus menerus agar polder tidak tergenang air (banjir). Sebelum ditemukannya mesin, pemompaan mekanis dilakukan dengan memanfaatkan kincir angin. Setelah ditemukannya mesin dan energi listrik saat ini sebagian besar polder memanfaatkan pemompaan mesin. Sebagian besar polder di Belanda saat ini berada pada elevasi di bawah drainage limit



Pada ilustrasi ini diperlihatkan suatu penampang lintang permukaan lahan antara sungai Kapuas dan sungai Mantangai di Kalimantan Tengah. Garis merah merupakan garis drainage limit pada penampang tersebut. Bila subsiden terus berlangsung dan permukaan lahan turun sampai mencapai garis drainage limit maka lahan tidak dapat lagi didrainase dengan gaya gravitasi semata, sehingga diperlukan pemompaan mekanis



Drainage limit dapat dihitung/dipetakan berdasarkan elevasi muka air sungai/laut terdekat, dan jarak dari sungai/laut terdekat serta slope limit. Slope limit yang umum digunakan adalah 20 cm/kilometer. Waktu sampai tercapainya drainage limit dapat dihitung bila laju subsiden pada lahan yang ditinjau diketahui. Pada ilustrasi ini diperlihatkan peta jarak ke sungai terdekat (peta kiri) dan peta elevasi bidang drainage limit (peta kanan) yang dihitung berdasarkan peta peta kiri. Bila permukaan lahan amblas sampai mencapai drainage limit maka resiko banjir meningkat, aerasi pada zona perakaran terganggu dan tanaman yang tidak toleran genangan tidak dapat tumbuh.

Lahan gambut pedalaman berada pada landscape dengan elevasi yang lebih tinggi dari lahan gambut pantai, dan ditandai dengan adanya masukan lateral kedalam sistem hidrologi dari lahan-lahan sekitar yang lebih tinggi. Sebaran lahan gambut pedalaman Indonesia belum terpetakan dengan baik. Diperlukan data dan informasi pendukung yang lebih lengkap untuk memetakan sebaran gambut pedalaman secara lebih rinci, yang mencakup peta elevasi, neraca air, dan contoh-contoh pewakil yang memadai untuk menentukan tingkat minerotropik lahan-lahan yang ditinjau.

Identifikasi tingkat minerotropik gambut pedalaman

$$H(i) = \frac{q_0 \cdot b_0 \sum_{j=1}^{i} \left[A_j \cdot Q_{gw}(j) \right]}{q_0 \cdot b_0 + \sum_{j=1}^{i} \left[A_j \cdot P_j + Q_{gw}(j) \right]}$$

- $H(i)$: Koefisien minerotropik, Jika $H(i)<0$ → Ombrotropik, jika $H(i) \geq 1$ → Minerotropik
- q_0 : Rata-rata debit masuk jangka panjang kedalam sistem gambut dari lahan sekitar
- b_0 : Lebar aliran debit masuk
- A : Luas segmen
- q_{gw} : Aliran groundwater vertikal
- P : Curah hujan
- j : indeks segmen
- i : Total jumlah segmen

(Metode Edom 2010)

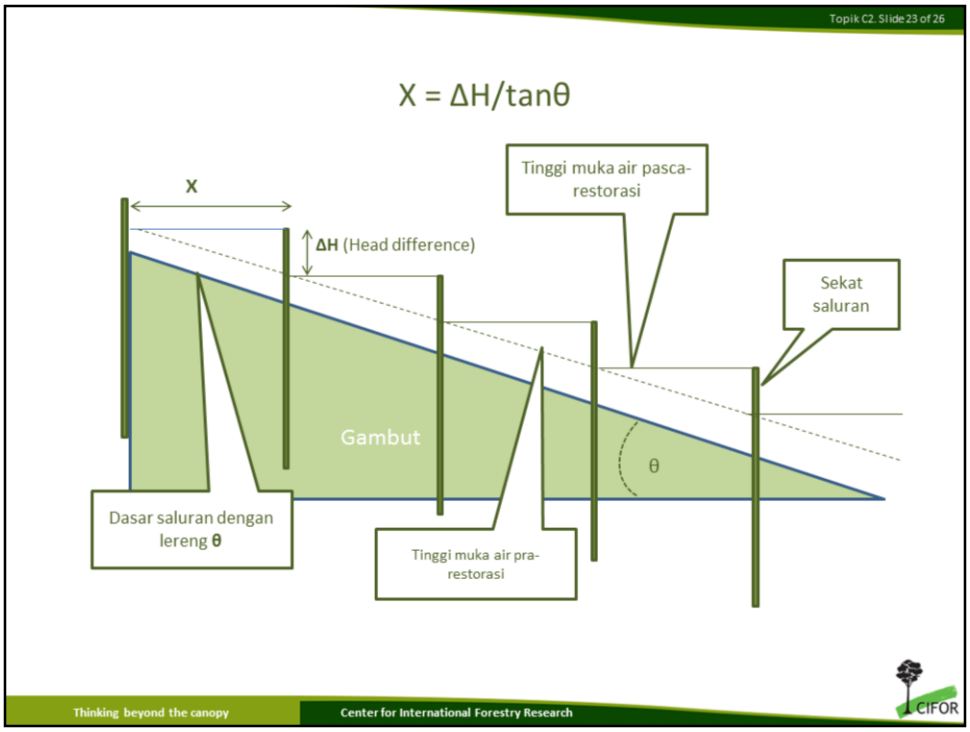
Tingkat minerotropik lahan gambut ikut menentukan tingkat kesuburannya. Semakin besar pengaruh masukan lateral dibanding curah hujan dalam sistem neraca air lahan gambut semakin dekat lahan gambut tersebut ke dalam tipe minerotropik dibandingkan ombrotropik dan kesuburannya cenderung semakin tinggi. Koefisien minerotropik dapat digunakan untuk klasifikasi dan pemetaan tingkat minerotropik lahan gambut yang ditentukan oleh besaran curah hujan, debit masuk dan debit keluar dari suatu sistem lahan gambut

Kebutuhan untuk memahami lebih dalam perilaku dan fungsi-fungsi hidrologi lahan gambut semakin meningkat dengan bertambahnya masalah yang berkaitan dengan lahan gambut di Indonesia. Walaupun pada dekade terakhir terlihat adanya peningkatan kajian ke arah ini namun masih terdapat sejumlah tantangan yang belum dapat diatasi. Tantangan ini berkaitan dengan aksesibilitas yang sulit, sebaran yang luas dan baseline data dan knowledge yang masih kurang. Temuan-temuan santifik teknis terkait ekosistem lahan gambut belum dapat diterjemahkan secara sempurna kedalam kebijakan pengelolaan lahan gambut Indonesia. Kebutuhan pemanfaatan ekonomis ekosistem gambut juga masih belum sejalan dengan visi perlindungan ekosistem gambut Indonesia

Mempertahankan hutan rawa gambut yang ada merupakan salah satu upaya yang baik dalam mencegah kerusakan hidrologi lahan gambut. Katimon (2004) memperlihatkan bahwa kerusakan hidrologis lahan gambut bersifat tidak balik. Upaya restorasi berupa pengembalian tutupan hutan dan rewetting mampu mengembalikan fungsi-fungsi hidrologi sampai batas teretentu tetapi tidak dapat mencapai kondisi seperti asalnya. Upaya restorasi harus mengkombinasikan tindakan-tindakan vegetatif (penanaman kembali maupun assisted natural regenarion) dan engineering (seperti penutupan saluran drainase buatan dan aplikasi geomembran).

Sejumlah upaya restorasi hidrologi lahan gambut telah dilakukan di Indonesia, seperti lahan gambut Merang Kepahyang Sumatra Selatan, eks PLG Kalimantan Tengah dan sejulah lahan gambut Riau. Tetapi upaya restorasi ini masih terbatas baik secara kualitas maupun kuantitas

Memulai penyekatan saluran dari hulu ke hilir memudahkan penanganan masalah logistik dan dapat menahan air pada akuifer dan bukannya dalam saluran. Aransemen berjenjang dianjurkan untuk meminimalisir head difference antara hulu dan hilir sekat. Jarak optimal antar sekat (X) dapat dihitung berdasarkan slope kanal (θ) dan target head difference (ΔH). Spillway perlu dirancang untuk mengalirkan debit puncak dan menghindari kerusakan struktur. Bahan penyekatan saluran dianjurkan bersifat ringan karena bearing capacity dan tahanan geser tanah gambut sangat rendah sehingga struktur yang berat akan mudah mengguling dan rusak. Pelibatan masyarakat dan sosialisasi yang baik akan meningkatkan tingkat acceptance dan mengurangi vandalisme. Pemilihan waktu yang baik dapat menguranig masalah transportasi logistik konstruksi.



Dalam ilustrasi ini diperlihatkan diagram hubungan antara perbedaan tinggi muka air antar sekat (head-difference, ΔH) dengan kemiringan saluran (θ) dan jarak antar sekat dalam saluran (X)

Daftar pustaka

Andriesse JP. 1988. Nature and Management of Tropical Peat Soils. FAO Soils Bulletin 59. FAO – Food and Agricultural Organization of the United Nations. Rome.

Conant RT, Ryan MG, Ågren GI, Birge HE, Davidson EA, Eliasson PE, Evans SE, Frey SD, Giardina CP, Hopkins F, et al. 2011. Temperature and soil organic matter decomposition rates. *Global Change Biology*. doi: 10.1111/j.1365-2486.2011.02496.x

Dommain R, Couwenberg J and Joosten H. 2010. Hydrological self-regulation of domed peatlands in south-east Asia and consequences for conservation and restoration. *Mires and Peat* 6(5): 1–17. International Mire Conservation Group and International Peat Society.

Dioumaeva I, Trumbore S, Schuur EAG, Goulden ML, Litvak M and Hirsch AI. 2003. Decomposition of peat from pland boreal forest: Temperature dependence and sources of respired carbon. *Journal of Geophysical Research* 108 (8222). doi:10.1029/2001JD000848.

Edom F, Munch A, Dittrich I, Keßler K and Peters R. 2010. Hydromorphological analysis and water balance modelling of ombro- and mesotrophic peatlands. *Advances in Geosciences* 27: 131–137.

Hergoualc'h K and Verchot LV. 2009. Stocks and fluxes of carbon associated with land use change in Southeast Asian tropical peatlands: A review. *Global Biogeochemical Cycles* 25 (GB2001). doi:10.1029/2009GB003718 2011.

Hooijer A, van der Vat M, Prinsen G, Vernimmen R, Brinkman J, and Zijl F. 2008. *Master Plan for the Rehabilitation and ehabilitation of the Ex-Mega Rice Project Area in Central Kalimantan*. Technical Report Number 2. Hydrology of the EMRP Area: Water Management Implications for Peatlands. Euroconsult Mott MacDonald / Delatres | Delft Hydraulics.

Katimon A. 2004 .*The Irreversible Hydrology Of Reclaimed Peat Basin In Malaysia: Is Restoration Possible?* Faculty of Civil Engineering Publication, Universiti Teknologi Malaysia.

Daftar pustaka

Kurnianto S, Warren M, Talbot J, Kaufman B, Murdiyarso D and Frokling S. 2015. Carbon accumulation of tropical peatlands over millennia: a modeling approach. *Global Change Biology. doi: 0.1111/gcb.12672*

Page SE, Rieley JO, Shotyk OW and Weiss D. 1999. Interdependence of peat and vegetation in a tropical peat swamp forest. *Philosophical Transaction B* 354: 1885-1897. The Royal Society London.

Page SE, Wurst RAJ, Weiss D, Rieley JO, Shotyk W, Limin SH. 2004. A record of Late Pleistocene and Holocene carbon accumulation and climate change from an equatorial peat bog(Kalimantan, Indonesia): implications for past, present and future carbon dynamics. *Journal of Quaternary Science* 19: 625–635.

Ritzema H and Wösten H. 2008. *Hydrology and Water Management Issues in Tropical Peatlands* [Restorpeat Presentation]. The Netherland: Alterra-ILRI, Wageningen University and Research Centre Wageningen.

Wosten H, Hooijer A, Siderius C, Rais DS, Idris A and Rieley J. 2006. Tropical Peatland water management modelling of the Air Hitam Lautcatchment in Indonesia. *Intlerational Journal River Basin Management* 4(4): 33–244. ©IAHR, INBO & IAHS.

Wosten J, Van Den Berg J, Van Eijk P, Gevers GJM, Giesen WBJT, Hooijer A, Idris A, LeenmanPH, Rais DS, Siderius C, et al. 2006. Interrelationships between Hydrology and Ecology in Fire Degraded Tropical Peat Swamp Forests. *Water Resources Development* 22(1): 157–174.

Xintu L. Undated. *Conditions of peat formation.* Coal, Oil, Shale, Natural Bitumen, Heavy Oil and Peat 2. Encyclopedia Of Life Support System (EOLS).

Yu Z, Loisel J, Brosseau DP, Beilman DW, Hunt SJ. 2010. Global peatland dynamics since the Last Glacial Maximum. *Geophysical Research Letters* 37(L13402).

IPN Toolbox

CIFOR

Indonesian Peatland Network (IPN) Toolbox merupakan upaya kerjasama CIFOR dengan ICCC (Kementerian Kehutanan dan Lingkungan Hidup), dengan bantuan dana dari USFS.

Cara mengutip presentasi ini
Rais DS dan Kurnianto S. 2015. Hidrologi lahan gambut Indonesia [Presentasi PowerPoint]. IPN Toolbox Tema C Subtema C2. www.cifor.org/ipn-toolbox

Photo credit
Adam Gynch, Daniel Murdiyarso, Dipa Satriadi Rais, Dita Alangkara, Imam Basuki, Ryan Woo, Solichin Manuri.

Thinking beyond the canopy

Center for International Forestry Research