

**PENGUKURAN KONDUKTIVITAS HIDROLIK GAMBUT
DENGAN MENGGUNAKAN METODE *SLUG TEST*
(STUDI KASUS: KATINGAN, KALIMANTAN TENGAH)**

GESTI PRABANDINI



**DEPARTEMEN GEOFISIKA DAN METEOROLOGI
FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM
INSTITUT PERTANIAN BOGOR
BOGOR
2016**

PERNYATAAN MENGENAI SKRIPSI DAN SUMBER INFORMASI SERTA PELIMPAHAN HAK CIPTA*

Dengan ini saya menyatakan bahwa skripsi berjudul Pengukuran Konduktivitas Hidrolik Gambut dengan Menggunakan Metode *Slug Test* (Studi Kasus: Katingan, Kalimantan Tengah) adalah benar karya saya dengan arahan dari komisi pembimbing dan belum diajukan dalam bentuk apa pun kepada perguruan tinggi mana pun. Sumber informasi yang berasal atau dikutip dari karya yang diterbitkan maupun tidak diterbitkan dari penulis lain telah disebutkan dalam teks dan dicantumkan dalam Daftar Pustaka di bagian akhir skripsi ini.

Dengan ini saya melimpahkan hak cipta dari karya tulis saya kepada Institut Pertanian Bogor.

Bogor, Juni 2016

Gesti Prabandini
NIM G24110010

ABSTRAK

GESTI PRABANDINI. Pengukuran Konduktivitas Hidrolik Gambut dengan Menggunakan Metode *Slug Test* (Studi Kasus: Katingan, Kalimantan Tengah). Dibimbing oleh DANIEL MURDIYARSO.

Gambut di Indonesia memiliki luas sekitar 20.6 juta ha atau 10.8 % dari luas daratan Indonesia. Sifat hidrolika gambut memiliki perbedaan dengan tanah mineral. Hidrolika gambut merupakan aspek penting dalam model hidrologi. Pada penelitian ini pengukuran nilai konduktivitas hidrolik (K) dilakukan dengan metode *slug test* di hutan gambut Katingan. Nilai K yang didapatkan pada 5 sumur uji berturut-turut sebesar $6.12 \times 10^{-7} \text{ ms}^{-1}$, $2.30 \times 10^{-7} \text{ ms}^{-1}$, $1.34 \times 10^{-6} \text{ ms}^{-1}$, $4.22 \times 10^{-7} \text{ ms}^{-1}$, dan $8.55 \times 10^{-7} \text{ ms}^{-1}$, dengan rata-rata sebesar $6.92 \times 10^{-7} \pm 1.92 \times 10^{-7} \text{ ms}^{-1}$. Nilai K akan berkurang seiring dengan bertambahnya kedalaman gambut. Nilai K dengan vegetasi berupa pohon-pohon lebih tinggi jika dibandingkan dengan nilai K pada vegetasi berupa semak-semak. Nilai K yang didapat umumnya lebih rendah jika dibandingkan dengan nilai K pada gambut subtropis. Nilai K berbanding terbalik dengan *bulk density*.

Kata kunci: gambut, konduktivitas hidrolik, *slug test*, tropis

ABSTRACT

GESTI PRABANDINI. Hydraulic Conductivity Measurement of Peat Swamp Forest Using The Slug Test Method (Case Study: Katingan, Central Kalimantan). Supervised by DANIEL MURDIYARSO.

Indonesia peat area is approximately 20.6 million ha or 10.8% of the land of Indonesia. Peat hydraulic properties are different from mineral soil. Peat hydraulics is an important aspect of the hydrological model. In this study, the K value measurement was conducted using slug test in Katingan peat forest. K value obtained from five testing wells respectively by $6.12 \times 10^{-7} \text{ ms}^{-1}$, $2.30 \times 10^{-7} \text{ ms}^{-1}$, $1.34 \times 10^{-6} \text{ ms}^{-1}$, $4.22 \times 10^{-7} \text{ ms}^{-1}$ and $8.55 \times 10^{-7} \text{ ms}^{-1}$, with an average of $6.92 \times 10^{-7} \pm 1.92 \times 10^{-7} \text{ ms}^{-1}$. The K value will decrease as the increasing of peat depth. The K value under vegetation such as trees is higher than the value under vegetation such as shrubs. K value obtained is lower than in the subtropical peat. The K value is inversely proportional to bulk density.

Keyword : hydraulic conductivity, peatland, slug test, tropics

**PENGUKURAN KONDUKTIVITAS HIDROLIK GAMBUT
DENGAN MENGGUNAKAN METODE *SLUG TEST*
(STUDI KASUS: KATINGAN, KALIMANTAN TENGAH)**

GESTI PRABANDINI

Skripsi
sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar
Sarjana Sains
pada
Departemen Geofisika dan Meteorologi

**DEPARTEMEN GEOFISIKA DAN METEOROLOGI
FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM
INSTITUT PERTANIAN BOGOR
BOGOR
2016**

Judul Skripsi : Pengukuran Konduktivitas Hidrolik Gambut dengan Menggunakan Metode *Slug Test* (Studi Kasus: Katingan, Kalimantan Tengah)

Nama : Gesti Prabandini

NIM : G24110010

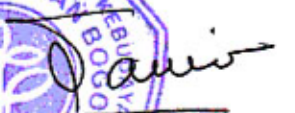
Disetujui oleh



Prof Dr Ir Daniel Murdiyarsa, MS
Pembimbing I

Diketahui oleh




Dr Ir Tanja June, MSc
Ketua Departemen

Tanggal Lulus: 24 AUG 2016.

Judul Skripsi : Pengukuran Konduktivitas Hidrolik Gambut dengan
Menggunakan Metode *Slug Test* (Studi Kasus: Katingan,
Kalimantan Tengah)

Nama : Gesti Prabandini

NIM : G24110010

Disetujui oleh

Prof Dr Ir Daniel Murdiyarso, MS
Pembimbing I

Diketahui oleh

Dr Ir Tania June, MSc
Ketua Departemen

Tanggal Lulus:

PRAKATA

Alhamdulillah segala puji dan syukur penulis panjatkan kepada Allah SWT atas segala nikmat dan rahmat-Nya sehingga karya ilmiah ini berhasil diselesaikan. Tema yang dipilih pada penelitian ini adalah lahan gambut dengan judul Konduktivitas Hidrolik Gambut Diukur dengan Menggunakan Metode *Slug Test* (Studi Kasus: Katingan, Kalimantan Tengah). Penelitian ini dilakukan sejak April hingga Agustus dan berlokasi di Katingan, Kalimantan Tengah.

Penulis tidak lupa menyampaikan ucapan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada:

1. Kedua orangtua serta kakak (Devita Ristanti) atas do'a, kasih sayang, semangat, dan dukungannya selama ini.
2. Yudi Triawan Septiadhi atas cerita dan pengalaman yang diberikan.
3. Prof. Dr. Ir. Daniel Murdiyarso, M.S. selaku pembimbing skripsi yang telah meluangkan waktunya untuk memberikan arahan dan bimbingan selama kegiatan penelitian.
4. Prof. Dr. Ir. Yonny Koesmaryono, M.S. selaku pembimbing akademik atas nasehat dan arahannya selama penulis menyelesaikan studi.
5. Dosen dan staf pengajar Departemen Geofisika dan Meteorologi atas ilmu yang diberikan kepada penulis selama proses belajar dan mengajar.
6. Seluruh staf/pegawai Departemen Geofisika dan Meteorologi atas bantuannya selama ini.
7. Mbul atas hati, pundak, waktu, dukungan, pengertian, dan perhatian yang diberikan.
8. Teman seperjuangan, Lucy Pertiwi dan Fauzan Aulia Fikri, atas semangat dan bantuannya terhadap penulis selama penelitian ini.
9. Kak Anggi, Kak Sigit, dan Kak Meli atas bantuan dan masukannya kepada penulis.
10. Frida, Nita, Lina, Via, Afni, dan Kak Himma atas kebersamaan, persahabatan dan kenangan selama ini.
11. Teman-teman GFM angkatan 48 (Ita, Gigih, Ana, Okky, Erwin, Nuy, Anis, Luta, Diah, Neni, Indri, Pepi, Pacul, Kupang, Jauh, Uqon, Fitri, Yufan, Pradit, Dzaki, Ririn, Taufik, Eka, Ridwan, Dion, Neneh, Hendra, Ijal, Okem, Agung, Irma, Iyok, Aviya, Pungky, Heidei, Destri, Sastra, Ina, Tresna, Semok, Hawa, Okta, Lutfi, Udin, Derri, Radini, Atu, Galuh, Alfi, Adit, Alvin, Ikrom, Niha) atas semangat, dukungan, kerjasama, dan kebersamaan yang kalian berikan selama 3 tahun ini. Semoga kita dipertemukan kembali dalam kesuksesan.
12. Kakak dan adik kelas di GFM atas bantuan dan persahabatannya.
13. Semua pihak yang telah membantu penulis dalam menyelesaikan studi yang tidak dapat disebutkan satu persatu.

Akhir kata, penulis hanya bisa menyampaikan bahwa tanpa pribadi-pribadi di atas, karya ilmiah ini tidak akan selesai dengan baik. Penulis berharap semoga karya ilmiah ini dapat bermanfaat bagi pihak-pihak yang membutuhkan.

Bogor, Juni 2016

Gesti Prabandini

DAFTAR ISI

DAFTAR ISI	ii
DAFTAR TABEL	iii
DAFTAR GAMBAR	iii
DAFTAR LAMPIRAN	iv
PENDAHULUAN	1
Latar Belakang	1
Tujuan Penelitian	1
TINJAUAN PUSTAKA	2
Definisi Gambut	2
Porositas	3
Bulk density	3
Konduktivitas hidrolik	4
METODE	8
Lokasi Penelitian	8
Alat dan Bahan	10
Prosedur Penelitian	10
Analisis Data	12
HASIL DAN PEMBAHASAN	14
Hasil Pengukuran Konduktivitas Hidrolik Menggunakan <i>Slug Test</i>	14
Pengaruh Kedalaman Gambut Terhadap Nilai Konduktivitas Hidrolik	16
Perbandingan Nilai Konduktivitas Hidrolik Gambut Tropis dan Subtropis	16
Perbandingan Nilai Konduktivitas Hidrolik Gambut Katingan dengan Gambut Tropis Lainnya	17
Pengaruh Tutupan Lahan Terhadap Konduktivitas Hidrolik Gambut	17
Pengaruh Nilai <i>Bulk Density</i> Terhadap Nilai Konduktivitas Hidrolik Gambut	18
KESIMPULAN DAN SARAN	19
Kesimpulan	19
Saran	19

DAFTAR PUSTAKA	19
LAMPIRAN	23
RIWAYAT HIDUP	37

DAFTAR TABEL

Tabel 1 Perhitungan total porositas (% volume) untuk gambut tropika (Driessen dan Rochimah 1976)	3
Tabel 2 Nilai-nilai <i>bulk density</i> pada gambut dari beberapa studi	4
Tabel 3 Nilai-nilai konduktivitas hidrolik (K) pada gambut dari beberapa studi	5
Tabel 4 Nilai konduktivitas hidrolik (K) dari berbagai macam struktur tanah (USBR 1993)	6
Tabel 5 Lokasi sumur uji	8
Tabel 6 Nilai parameter yang digunakan pada pengukuran konduktivitas hidrolik menggunakan slug test pada setiap sumur	15
Tabel 7 Konduktivitas hidrolik horisontal pada tiap sumur	15
Tabel 8 Nilai K di hutan gambut Kompsasuo dan Ruka, Finlandia, pada kedalaman 0.1- 0.6 m di bawah permukaan tanah (Ronkanen dan Klove 2005)	16
Tabel 9 Nilai konduktivitas hidrolik (K) gambut tropis dari beberapa studi	17
Tabel 10 Nilai <i>bulk density</i> pada gambut tropis dari beberapa studi	18

DAFTAR GAMBAR

Gambar 1 Lokasi sumur uji ditampilkan dengan Google Earth	8
Gambar 2 Sumur uji pada lokasi penelitian	9
Gambar 3 Skema pemasangan sumur uji	9
Gambar 4 Metode slug test pada pengukuran konduktivitas hidrolik (Waterra 2012)	10

Gambar 5	Prosedur pengukuran konduktivitas hidrolik gambut menggunakan <i>slug test</i>	11
Gambar 6	Penampang vertikal sumur uji pada gambut	12
Gambar 7	Parameter A, B, dan C sebagai fungsi dari L/rw untuk perhitungan $\ln (Re/rw)$ (Bouwer dan Rice 1976)	13
Gambar 8	Grafik Y_t terhadap waktu pada slug test sumur 1 di hutan Gambut Katingan, Kalimantan Tengah	14

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1	Pengukuran Y_t saat <i>slug in</i> pada sumur 1	23
Lampiran 2	Pengukuran Y_t saat <i>slug out</i> pada sumur 1	26
Lampiran 3	Pengukuran Y_t saat <i>slug in</i> pada sumur 2	27
Lampiran 4	Pengukuran Y_t saat <i>slug out</i> pada sumur 2	29
Lampiran 5	Pengukuran Y_t saat <i>slug in</i> pada sumur 3	30
Lampiran 6	Pengukuran Y_t saat <i>slug out</i> pada sumur 3	31
Lampiran 7	Pengukuran Y_t saat <i>slug in</i> pada sumur 4	32
Lampiran 8	Pengukuran Y_t saat <i>slug out</i> pada sumur 4	34
Lampiran 9	Pengukuran Y_t saat <i>slug in</i> pada sumur 5	35
Lampiran 10	Pengukuran Y_t saat <i>slug out</i> pada sumur 5	36

PENDAHULUAN

Latar Belakang

Indonesia merupakan negara yang memiliki sumber daya alam yang melimpah, salah satunya adalah gambut. Gambut di Indonesia memiliki luas sekitar 20.6 juta ha atau 10.8% dari luas daratan Indonesia. Gambut tersebut sebagian besar terdapat di tiga pulau besar, yaitu Sumatera 35%, Kalimantan 32%, dan Papua 30% (ICCC 2013).

Gambut berisi bahan organik dengan konsentrasi tinggi yang berasal dari tanaman-tanaman yang telah membusuk sebagian atau keseluruhan, dengan kondisi terendam air dan anaerobik. Gambut mempunyai fungsi hidrologi yaitu pengatur kandungan kadar air dan mengendalikan fluktuasi air sepanjang musim yang berbeda. Hal ini menunjang fungsi dasar dari gambut termasuk pengaturan aliran air, mencegah kebakaran gambut, mempertahankan unsur hara dari gambut, penyediaan air bersih, dan menjaga keanekaragaman hayati yang sangat unik dan kaya tetap lestari.

Sifat hidrolik gambut memiliki perbedaan dengan tanah mineral. Diperlukan studi lanjut mengenai penyimpanan dan pelepasan air pada lahan basah. Dewasa ini, parameter hidrolik gambut mulai dimasukkan dalam model hidrologi regional seperti *Canadian Land Surface Scheme* (CLASS) (Letts *et al.* 2000). Karakteristik hidrolik penting dalam pemodelan hidrologi lahan basah, karena mempengaruhi aliran dan penyimpanan air tanah. Konduktivitas hidrolik umumnya diamati dalam studi gambut. Parameter ini juga dapat dijadikan indikator baik atau buruknya lingkungan.

Mempelajari sifat hidrolik gambut memiliki banyak tantangan. Gambut adalah media yang mudah terganggu dan kompresibel yang biasa jenuh atau mendekati jenuh hampir sepanjang tahun.

Pada umumnya, digunakan metode skala kecil seperti *slug test* dan analisis laboratorium dalam penelitian hidrologi gambut. Salah satu kelemahan utama dari *slug test* adalah ketergantungan hasil pada daerah yang terganggu di dekat zona perforasi. Pada penelitian ini diukur nilai konduktivitas hidrolik gambut pada kedalaman 1.5 m. Semakin besar kedalaman gambut, maka retensi air akan semakin besar. Karena permukaan untuk menahan air juga semakin besar. Oleh karena itu, umumnya gambut dengan kedalaman tinggi mampu menyediakan air yang cukup bagi vegetasi di atasnya.

Pengukuran dilakukan dengan menggunakan metode *slug test*, yaitu memasukkan slug ke dalam sumur uji yang akan menambah volume air atau mengangkat slug dari sumur uji yang akan mengurangi volume air, dan mencatat pemulihan ketinggian muka air ke kondisi setimbang dengan *water table*.

Tujuan Penelitian

Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui nilai konduktivitas hidrolik pada gambut tropis dengan menggunakan metode *slug test*.

TINJAUAN PUSTAKA

Definisi Gambut

Memahami fungsi hidrodinamika gambut membutuhkan pengetahuan menyeluruh tentang struktur dan parameter fisik gambut yang memainkan peran penting dalam pergerakan air di dalam gambut. Untuk mengetahui bagaimana parameter fisik ini mempengaruhi fungsi hidrodinamik gambut, seseorang perlu memiliki pemahaman tentang asal-usul gambut, jenis dan kegunaannya, hidrologi dan ekologi, serta proses kimia dan biologi yang terjadi di dalamnya.

Gambut merupakan akumulasi dari material organik terdekomposisi sebagian dengan kandungan kadar abu sama atau kurang dari 35%, kedalaman gambut sama atau kurang dari 50 cm, dan kandungan karbon organik (berat) sekurang-kurangnya 12% (ICCC 2013). Gambut adalah bahan biogenik yang ketika jenuh terdiri dari sekitar 90% - 95% air dan sekitar 5% - 10% bahan padat dengan kandungan organik dari fraksi padat yang mencapai 95% (Warburton *et al.* 2004).

Tanah gambut disebut organosols dalam sistem klasifikasi lama (taksonomi tanah), yaitu tanah yang mengandung bahan organik. Dalam klasifikasi baru disebut histosol (*histos* = *tissue* = jaringan).

Gambut berbeda dari tanah organik lainnya karena memiliki komponen yang meliputi: bahan organik dalam keadaan terorganisir sehingga dapat diidentifikasi; kandungan bahan organik yang telah mengalami kerusakan yang cukup besar, tetapi struktur sel masih terlihat; kandungan bahan organik yang telah terdegradasi, menyusun humus dan sering membentuk matriks gambut; dan materi anorganik, baik yang berasal dari debu atau pencucian, atau dari sel-sel beberapa tanaman (Moore dan Bellamy 1974). Komposisi komponen ini bervariasi dari satu sampel gambut yang lain karena mereka bergantung pada beberapa faktor dalam tanah gambut yang meliputi sifat bahan induk, tingkat humifikasi gambut dan tingkat kerusakan pada lapisan aerobik dalam tanah gambut. Bahan induk gambut dapat diklasifikasikan sebagai sedimen, berserat atau berkayu tergantung dari materi pembentuknya.

Gambut sebagai tipe ekosistem basah jauh lebih penting daripada ekosistem non-basah dalam hal pengelolaan sumber daya air karena memiliki fungsi yang meliputi: perbaikan kualitas air (Mitsch *et al.* 2009, Ronkanen dan Klove 2005, Krecek dan Haigh 2006, Holden 2005); perlindungan pesisir; mitigasi banjir; perlindungan satwa liar dan stabilitas iklim (Mitsch *et al.* 2009). Gambut dikenal karena perannya dalam pemurnian air dan banyak gambut buatan yang dibangun di seluruh dunia untuk mengolah semua jenis air limbah. Gambut bertindak sebagai penyerap karbon, mengandung 60% karbon terestrial di dunia (Bullock *et al.* 2012) dan merupakan habitat bagi sebagian besar organisme hidup, tanaman dan spesies hewan. Peran gambut alam sebagai ekosistem sangat besar tetapi meskipun begitu, ada beberapa nilai dari gambut yang menarik untuk pertanian, energi dan produksi kehutanan (Moore dan Bellamy 1974).

Porositas, retensi air, konduktivitas hidrolis, dan tingkat dekomposisi sangat bervariasi secara vertikal dan saling berkaitan. Survei dari ratusan gambut telah menghasilkan banyak informasi tentang kedalaman gambut, *bulk density*, dan kimia

air. Gambut sering digambarkan oleh derajat dekomposisi, mulai dari fibrik, hemik, dan saprik.

Porositas

Gambut ditandai memiliki banyak pori-pori kecil dan struktur pori yang sangat heterogen yang berasal dari sisa tanaman dalam berbagai tahap dekomposisi. Porositas adalah rasio volume rongga dan total volume tanah. Gambut memiliki nilai porositas tinggi mulai dari 80% sampai 97%, dibandingkan dengan porositas tanah mineral mulai dari 35% sampai 50%. Pada penelitian yang dilakukan oleh Hogan (2005), nilai porositas yang didapat cenderung lebih tinggi, yakni 90% hingga 98%. Knott *et al.* (1987) dalam penelitiannya di Massachusetts memperoleh nilai porositas rata-rata gambut sebesar 75% dengan kisaran 42% – 93% dan standar deviasi 16%. Biasanya ada proporsi yang lebih tinggi dari ruang pori besar di lapisan dekat permukaan, yang memungkinkan proses drainase menjadi mudah dan lancar. Porositas dan distribusi ukuran pori mempengaruhi aliran dan penyimpanan air di gambut (Boelter 1964).

Semakin besar porositas tanah maka konduktivitas hidrolik juga semakin besar (Asmaranto *et al.* 2012). Hal ini dikarenakan semakin banyak pori yang tersedia sebagai media pergerakan air. Nilai berat isi akan mempengaruhi porositas dan porositas akan mempengaruhi proses pergerakan air. Semakin tinggi pori efektif tanah maka K semakin meningkat (Rosyidah dan Wirosodarmo 2013).

Porositas gambut sangat menentukan pergerakan air tanah. Gambut fibrik mempunyai laju pergerakan air tanah yang tinggi karena memiliki pori yang besar. Porositas ditentukan oleh *bulk density* dan berat jenis bahan (Driessen dan Rochimah 1976). Hasil perhitungan total porositas yang dilakukan oleh Driessen dan Rochimah dapat dilihat pada Tabel 1.

Tabel 1 Perhitungan total porositas (% volume) untuk gambut tropika (Driessen dan Rochimah 1976)

<i>Bulk Density</i> (g cm ⁻³)	Porositas (%)		
	Fibrik	Hemik	Saprik
0.10	92.3	92.9	93.3
0.15	88.5	89.3	90.0
0.20	84.6	85.7	86.7
0.25	80.8	82.1	83.3

Bulk density

Bulk density pada gambut lebih rendah jika dibandingkan dengan semua jenis tanah lain karena komposisi organiknya. Nilai *bulk density* kering untuk gambut tidak terganggu sebesar 0.1 g cm⁻³, sedangkan tanah mineral memiliki kepadatan di kisaran 1.1-1.6 g cm⁻³. *Bulk density* umumnya meningkat seiring dengan tingkat dekomposisi dan kedalaman gambut. *Bulk density* dan kadar serat seringkali dijadikan sebagai indikator dari tingkat dekomposisi (Boelter 1969). Sebagai hasil dekomposisi, ukuran serat organik akan berkurang dan menciptakan pori-pori yang lebih kecil. Päivänen (1973) mengamati pengaruh yang signifikan dari tingkat humifikasi pada nilai-nilai K, nilai K menurun dengan meningkatnya derajat humifikasi.

Menurut Boelter (1969), jika *bulk density* kurang dari 0.075 g cm^{-3} dan kandungan serat lebih dari $2/3$, maka gambut diklasifikasikan sebagai gambut fibrik. Jika *bulk density* lebih besar dari 0.195 g cm^{-3} dan kandungan serat kurang dari $1/3$, maka gambut digolongkan sebagai gambut saprik. Kadar *bulk density* untuk gambut bervariasi antara $0.050\text{-}0.150 \text{ g cm}^{-3}$ (Hogan 2006). Nilai *bulk density* pada beberapa studi dapat dilihat pada Tabel 2.

Tabel 2 Nilai-nilai *bulk density* pada gambut dari beberapa studi

Lokasi	Koordinat	<i>Bulk Density</i> (g cm^{-3})	Rata-Rata (g cm^{-3})	Referensi
Lost River Peatland, Minnesota, USA	48°12' LU, 94°17'30" BB	0.06-0.14		(Chason dan Siegel 1986)
Northern Ireland		0.058-0.084	0.069	(Tomlinson dan Davidson 2000)
Ireland	53°18' LU, 7°25' LS	0.037-0.254	0.123	(Wellock <i>et al.</i> 2011)
Ireland	54°19' LU, 8°7' LS	0.058-0.202	0.116	(Wellock <i>et al.</i> 2011)
Ireland	53°18' LU, 9°13' LS	0.095-0.264	0.155	(Wellock <i>et al.</i> 2011)
Ireland		0.05-0.79	0.17	(Kiely <i>et al.</i> 2010)
Glencar, County Kerry, southwest Ireland	51°58' LU, 9°54' BB	0.038-0.165		(Lewis <i>et al.</i> 2011)

Bulk density berbanding terbalik dengan porositas dan konduktivitas hidrolis. Semakin besar nilai *bulk density*, maka porositas akan semakin kecil dikarenakan sedikitnya rongga dalam tanah, yang akan menghambat pergerakan air sehingga nilai konduktivitas hidrolis juga semakin kecil (Lewis *et al.* 2011).

Konduktivitas hidrolis

Konduktivitas hidrolis dapat diartikan sebagai kemampuan tanah dalam meloloskan air. Kemampuan ini berlaku dalam dua kondisi yaitu pada saat semua pori-pori terisi air (jenuh) dan saat hanya sebagian pori-pori yang terisi air (tidak jenuh). Jumlah dan kecepatan air yang mengalir dalam profil tanah sangat dipengaruhi oleh sifat fisik tanah khususnya ukuran pori tanah.

Pada tanah jenuh, aliran air dalam tanah sesuai dengan hukum Darcy, dimana kecepatan aliran air yang melalui massa tanah sebanding dengan gradien hidrolis. Menurut Fredlund dan Rahardjo (1993), hukum Darcy juga diterapkan pada pengukuran aliran air dalam tanah tidak jenuh. Perbedaannya dengan kondisi tanah

jenuh adalah pada koefisien permeabilitas. Pada tanah jenuh, koefisien permeabilitas dianggap konstan karena hanya bergantung pada ukuran pori tanah. Sedangkan pada tanah tidak jenuh aliran air dipengaruhi oleh perubahan kadar air dalam tanah (Asmaranto *et al.* 2012).

Konduktivitas hidrolik adalah fungsi dari ruang yang terhubung dalam media berpori, serta sifat-sifat fluida seperti viskositas. Pada tanah gambut, ruang pori yang besar ditemukan di lapisan atas yang kurang terdekomposisi dan biasanya memiliki konduktivitas hidrolik tertinggi. Karena perbedaan dekomposisi gambut dan tipe vegetasi, konduktivitas hidrolik gambut sangat bervariasi.

Konduktivitas hidrolik pada gambut sering anisotropik. Rasio horizontal untuk konduktivitas hidrolik vertikal sangat bervariasi pada kolom gambut, dan bahwa konduktivitas horisontal (K_h) biasanya lebih tinggi dari konduktivitas hidrolik vertikal (K_v). Schlotzhauer dan Price (1999) mengukur bahwa rata-rata, konduktivitas hidrolik vertikal adalah empat kali lebih rendah dari konduktivitas horisontal.

Nilai konduktivitas hidrolik pada kedalaman 0.5 m dan 1 m sebesar $4.27 \times 10^{-5} \text{ ms}^{-1}$ dan $6.11 \times 10^{-6} \text{ ms}^{-1}$. Sedangkan pada kedalaman 2 m dan 3 m sebesar $4.87 \times 10^{-7} \text{ ms}^{-1}$ (Hogan 2005). Pollock *et al.* (1983) mendapatkan nilai konduktivitas hidrolik melalui tiga metode yaitu tes akifer (10^{-4} hingga 10^{-3} ms^{-1}), tes in situ (10^{-4}), dan tes laboratorium (10^{-8} hingga 10^{-6} ms^{-1}). Nilai konduktivitas hidrolik gambut pada beberapa studi lain dapat dilihat pada Tabel 3.

Tabel 3 Nilai-nilai konduktivitas hidrolik (K) pada gambut dari beberapa studi

Lokasi	Koordinat	Kedalaman (m)	K (ms^{-1})	Referensi
Lac Saint-Jean Quebec, Kanada	48°47' LU, 72°10' BB	0.1	1.73×10^{-6}	(Schlotzhauer dan Price 1999)
Ireland		0.5 – 3	$10^{-8} - 10^{-2}$	(Kneale 1987)
Lost River Peatland, Minnesota, USA	48°12' LU, 94°17'30" BB	0.5 – 3	$2.5 \times 10^{-6} - 2.6 \times 10^{-4}$	(Chason dan Siegel 1986)
Mer Bleue, Kanada	45°30' LU, 75°25' BB	0.5 – 1.0	$1 \times 10^{-8} - 5 \times 10^{-6}$	(Fraser <i>et al.</i> 2001)
Biebrza Valley, Poland	53°30'–53°75' LU, 22°30'–23°60' BT		$5.5 \times 10^{-8} - 5 \times 10^{-6}$	(Gnatowski <i>et al.</i> 2010)
Lac Saint-Jean Quebec, Kanada	48°47' LU, 72°10' BB	0.0 – 0.15	$10^{-7} - 10^{-4}$	(Kennedy dan Price 2005)
Moor House National Nature Reserve (NNR), North Pennines, UK	54°65' LU, 2°45' BB	0.1 – 0.8	$1 \times 10^{-5} - 1 \times 10^{-7}$	(Holden dan Burt 2003)
Cape Race, Newfoundland, Kanada	46°38' LU, 53°06' BB	0.2 – 0.5	$1 \times 10^{-8} - 1.6 \times 10^{-2}$	(Hoag dan Price 1995)
Thorne Moors National Nature Reserve, Humberhead Peatlands, UK	53°38' LU, 0°54' BB	0.0 – 0.15	$1 \times 10^{-5} - 1.2 \times 10^{-3}$	(Beckwith <i>et al.</i> 2003)

Dimensi fisik untuk konduktivitas hidrolik tergantung pada apa yang digunakan untuk mengekspresikan kecepatan. Untuk pengujian laboratorium

umumnya digunakan sentimeter kubik per sentimeter persegi per detik. Namun, hasil ini digunakan dalam jumlah sangat kecil. Untuk aplikasi lapangan digunakan meter kubik per meter persegi per hari. Unit-unit ini biasanya disingkat menjadi sentimeter per detik dan meter per hari.

Pengukuran konduktivitas hidrolis tanah gambut merupakan tugas yang sulit karena perilaku gambut tidak persis sama seperti tanah mineral dan mungkin tidak selalu mungkin untuk langsung menerapkan teknik dan teori-teori yang berasal dari tanah mineral untuk hidrologi lahan gambut (Charman 2002). Tanah gambut tidak seperti kebanyakan tanah mineral yang sangat heterogen dan anisotropik. Hal ini menyebabkan masalah dalam estimasi konduktivitas hidrolis karena konduktivitas hidrolis gambut cenderung bervariasi dari titik ke titik dan dengan kedalaman karena fisik dan struktur partikel konstituen dalam tanah gambut seperti serat dan butiran sangat mempengaruhi ukuran dan kelangsungan pori-pori di dalam tanah gambut (Wong *et al.* 2009).

Beberapa metode terkenal yang telah digunakan untuk mempelajari konduktivitas hidrolis di tanah gambut meliputi: metode piezometer, metode pengujian pompa (Hogan *et al.* 2006), dan metode laboratorium (Ronkanen dan Klove 2005). Meskipun metode ini telah menghasilkan beberapa hasil yang cukup, kesesuaian, akurasi dan presisi dari metode ini belum dipelajari secara ekstensif (Baird *et al.* 2004). Salah satu metode yang telah diadaptasi secara luas dalam studi lahan gambut, terutama di lahan gambut yang dikeringkan, adalah metode piezometer. Tapi seperti metode lain, metode ini memiliki kelemahan tersendiri, yaitu hasil yang diperoleh melalui metode tersebut tergantung pada daerah dekat zona perforasi piezometer yang relatif kecil berpotensi terganggu (Hogan *et al.* 2006).

Nilai konduktivitas hidrolis pada berbagai macam struktur tanah dan endapan lepas menurut USBR (*US Bureau of Reclamation*) (1993) dapat dilihat pada Tabel 4.

Tabel 4 Nilai konduktivitas hidrolis (K) dari berbagai macam struktur tanah (USBR 1993)

10^4	10^3	10^2	10^1	1	10^{-1}	10^{-2}	10^{-3}	10^{-4}	10^{-5}	K (m/hari)
Sangat tinggi	Tinggi	Menengah			Rendah		Sangat rendah			
Endapan lepas										
Kerikil bersih		Pasir bersih, pasir dan kerikil		Pasir halus		Silt, lempung pasir, lempung		Lempung masif		
Batuan kompak										
Basalt vesikuler, skorius, batu gamping (dolomit) berlubang			Batu pasir bersih, batuan beku dan metamorf yang retak-retak		Batu pasir laminasi, shale dan <i>mudstone</i>			Batuan beku dan metamorf masif		

Karena banyak model dan desain di bidang teknik lingkungan, sipil, dan pertanian, diperlukan input parameter konduktivitas hidrolik untuk simulasi dan desain yang efektif, pengukuran konduktivitas hidrolik tanah telah menjadi praktik yang penting di bidang ini.

Selama 50 tahun terakhir, kadar sedimen permeabel yang tinggi telah memberikan dasar untuk mengembangkan banyak karakterisasi dari akuifer permeabilitas, transmisivitas dan simpanan. Estimasi laju pergerakan air tanah bahkan pada tingkat yang lambat seperti $5 \times 10^{-7} \text{ cm s}^{-1}$ telah menjadi kebutuhan di setiap penyelidikan lingkungan yang melibatkan air tanah (Campbell *et al.* 1990).

Mengingat pentingnya konduktivitas hidrolik dalam bidang ilmu pengetahuan dan teknik tanah, sejumlah metode laboratorium dan lapangan telah dikembangkan untuk estimasi besarnya nilai konduktivitas hidrolik. Banyak dari metode ini dikembangkan dengan prinsip persamaan aliran Darcy. Metode laboratorium di antaranya adalah metode *constant head permeameter* dan *falling head permeameter*. Metode lapangan di antaranya adalah metode *falling head direct push piezometer* dan metode *slug test*.

Slug test termasuk metode lubang *auger* dan metode piezometer, yang melibatkan penghilangan air melalui lubang bor ke interval bawah permukaan sedimen, tanah, atau batuan retak (Campbell *et al.* 1990). Metode lubang *auger* telah menjadi metode yang banyak digunakan di masa lalu dan meliputi pembuatan lubang dengan bantuan *auger* sambil memastikan gangguan minimum pada tanah.

Setelah mengebor lubang dengan *auger*, operasi pertama dilakukan untuk mengurangi efek genangan di lubang, setelah itu tingkat air di dalam lubang akan naik hingga setimbang dengan air tanah. Kedalaman awal air pada lubang, diameter lubang, dan jarak antara bagian bawah lubang dan lapisan kedap dicatat, air dipompa keluar dari lubang dan tingkat pemulihan dalam lubang diukur sehingga memungkinkan untuk perhitungan konduktivitas hidrolik dari tanah sekitarnya.

Mengingat bahwa aliran air ke dalam lubang *auger* tidak satu dimensi tetapi tiga dimensi, sulit untuk menggambarkan konduktivitas hidrolik jenuh dari metode ini, sebagai fungsi sederhana dari gradien fluks dan hidrolik yang berlaku dalam metode laboratorium.

Salah satu masalah terkait dengan metode lubang *auger* yaitu kesalahan serius mungkin timbul jika tindakan pencegahan yang tepat dan langkah-langkah tidak diambil selama melakukan tes atau jika persamaan dan tabel yang digunakan di luar jangkauan. Masalah lain dari metode ini adalah penyumbatan pori-pori sehingga menghasilkan estimasi konduktivitas hidrolik yang salah.

Metode Hvorslev (1951) dan Bouwer dan Rice (1976) adalah metode yang paling umum diterapkan dalam analisis *slug test* (Hyder dan Butler 1995), dan yang pertama digunakan secara luas dalam studi gambut (Bradley 1996).

Metode Bouwer-Rice, tidak memecahkan masalah simpanan pada akuifer tertekan terkait dengan metode Hvorslev. Keuntungan dari metode ini adalah berlaku untuk *unconfined* dan *confined* akuifer, dan zona perforasi sebagian atau penuh (Bouwer dan Rice 1976).

Salah satu masalah utama pada *slug test* adalah potensi berkurangnya aliran masuk dan keluar dari pipa piezometer karena pemblokiran pori-pori di sekitar zona perforasi dengan gelembung gas. Masalah ini biasanya menghasilkan estimasi nilai konduktivitas hidrolik yang jauh di bawah nilai sebenarnya (Baird *et al.* 2004).

METODE

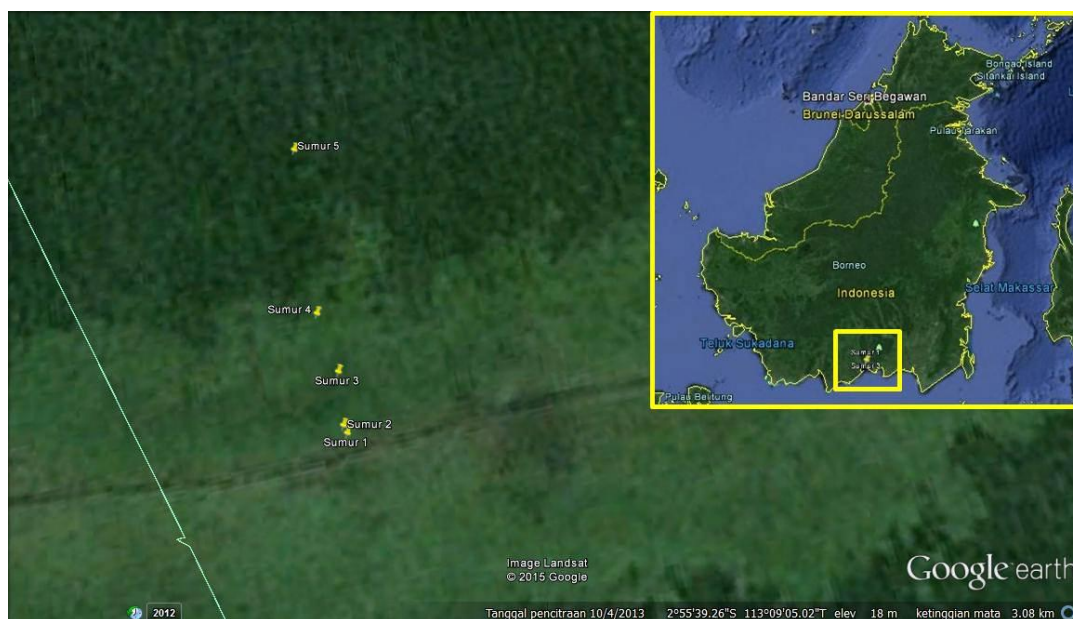
Lokasi Penelitian

Penelitian ini dilaksanakan di kawasan restorasi dan konservasi PT. Rimba Makmur Utama (PT. RMU), Katingan, Kalimantan Tengah, *Center for International Forestry Research* (CIFOR), dan Laboratorium Hidrometeorologi Departemen Geofisika dan Meteorologi IPB pada bulan April hingga Agustus 2015. Sumur uji diletakkan di 5 titik lokasi (Tabel 5).

Tabel 5 Lokasi sumur uji

Sumur	Koordinat	
	Lintang	Bujur
1	2°55'47.17" LS	113°8'41.21" BT
2	2°55'46.27" LS	113°8'40.96" BT
3	2°55'40.48" LS	113°8'41.46" BT
4	2°55'33.67" LS	113°8'40.43" BT
5	2°55'14.41" LS	113°6'53.14" BT

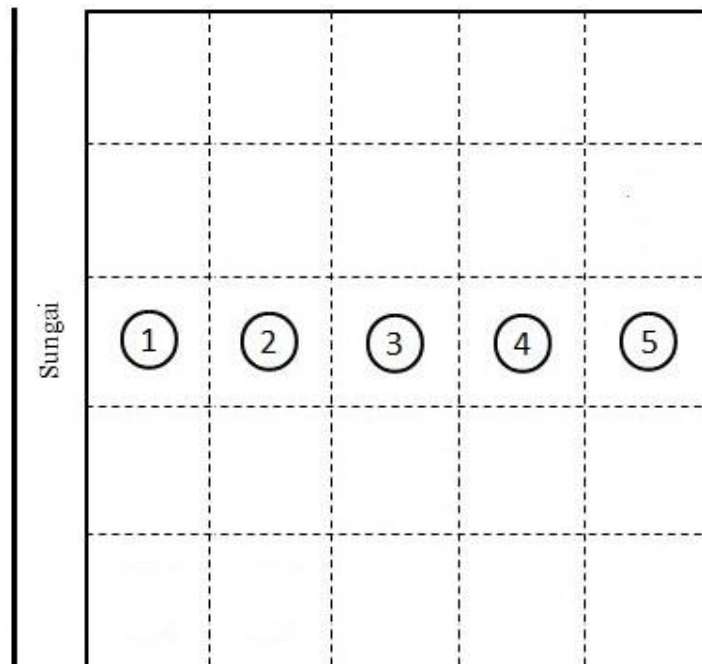
Lokasi sumur uji yang ditampilkan menggunakan Google Earth dapat dilihat pada Gambar 1, sumur uji di lokasi penelitian dapat dilihat pada Gambar 2, dan skema pemasangan sumur uji dapat dilihat pada Gambar 3.



Gambar 1 Lokasi sumur uji ditampilkan dengan Google Earth



Gambar 2 Sumur uji pada lokasi penelitian



Gambar 3 Skema pemasangan sumur uji

Kabupaten Katingan berada pada $112^{\circ}00'$ - $113^{\circ}45'$ BT dan $0^{\circ}20'$ - $3^{\circ}38'$ LS. Kabupaten ini berada di wilayah Kalimantan Tengah dan memiliki ibu kota yang terletak di Kasongan. Kabupaten ini mempunyai luas sebesar $20,403 \text{ km}^2$, yaitu 11.59% dari luas wilayah Kalimantan Tengah.

Kabupaten Katingan berada pada daerah beriklim panas dan lembab, dengan suhu maksimum 36°C , suhu minimum 33°C , dan suhu rata-rata 26.9°C . Rata-rata

kecepatan angin berkisar antara 4 – 6 knot dengan jumlah hari hujan sebanyak 202 hari. Intensitas penyinaran matahari yang tinggi dan sumber daya air yang cukup banyak menyebabkan tingginya penguapan yang menghasilkan awan aktif. Oleh karena itu, wilayah ini memiliki curah hujan yang tinggi, yaitu 3,000 mm/tahun.

Kabupaten ini dialiri oleh sungai besar, yaitu Sungai Katingan yang bermuara di Laut Jawa. Wilayah di sekitar aliran ini mudah tergenang, berawa-rawa, dan merupakan endapan organik (lahan gambut) yang bersifat asam. Lahan gambut di Kabupaten Katingan juga ditemukan pada dataran gambut, kubah gambut, dan sedikit daerah cekungan. Jenis tutupan vegetasinya berupa hutan rawa dan rumput/belukar rawa.

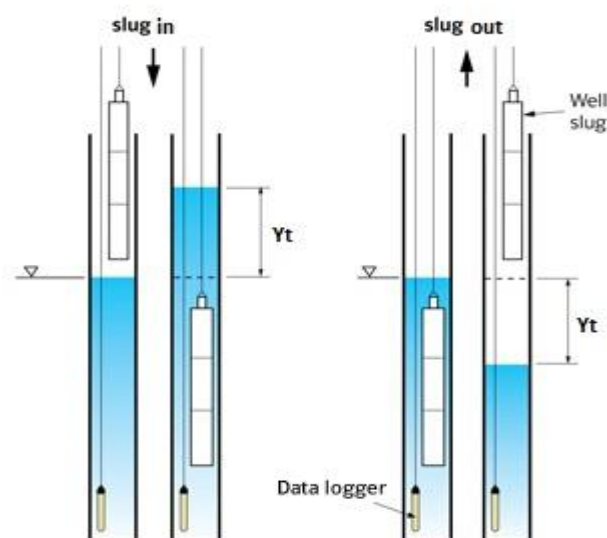
Luas lahan gambut di wilayah Katingan adalah 513,589 ha, yang terdiri dari 16,420 ha gambut dangkal, 174,712 ha gambut sedang, 122,736 ha gambut dalam, 88,794 ha gambut sangat dalam, dan 110,927 ha gambut dalam sekali. Tingkat kematangan gambut hemist atau fibrist (Wahyunto *et al.* 2004). Rata-rata ketebalan gambut adalah 7.86 m dan nilai pH gambut sangat rendah yaitu 2.82. Rata-rata *bulk density* sebesar 0.131 g cm^{-3} (Boehm dan Frank 2008).

Alat dan Bahan

Alat dan bahan yang digunakan dalam penelitian ini yaitu pipa PVC 2 inch, pipa PVC 1 inch, kawat loket (*wiremesh*), lem pipa, *cable tie*, *hand auger*, *water logger* Hobo U20, tutup pipa (*pipe fitting cap*) 2 inch, mistar, benang nylon, laptop dengan *Ms. Excel* dan *Ms. Word*.

Prosedur Penelitian

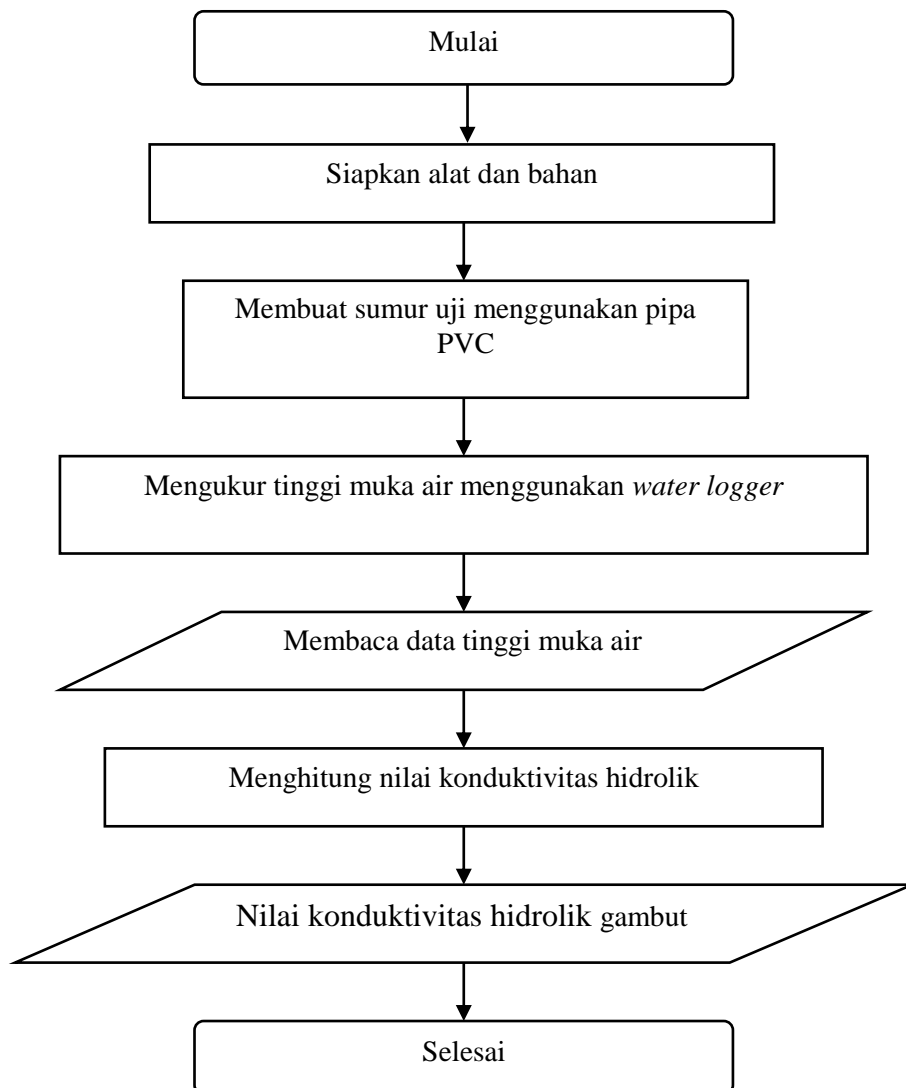
Pengukuran konduktivitas hidrolis pada penelitian ini dilakukan dengan menggunakan metode *slug test*. Konduktivitas hidrolis dari akuifer ditentukan dari laju kenaikan tingkat air di sumur setelah volume tertentu atau 'slug' air tiba-tiba diangkat dari sumur (Bouwer dan Rice 1976).



Gambar 4 Metode slug test pada pengukuran konduktivitas hidrolis (Watterra 2012)

Langkah pertama dari prosedur penelitian yang dilakukan adalah memotong pipa PVC 2 inch sepanjang 2 meter. Lubangi permukaan pipa tersebut sepanjang 30 cm di bagian ujung, untuk bagian perforasi. Lapsi lubang dengan kawat loket (*wiremesh*) sebanyak dua rangkap. Pasang tutup pipa di bagian ujung pipa yang telah diberi lubang. Kemudian potong pipa PVC 1 inch sepanjang 50 cm (*slug*), isi dengan pasir dan pasang tutup pipa di kedua ujung pipa.

Buat lubang / sumur sedalam 1.5 meter menggunakan *hand auger*. Masukkan pipa yang telah dilubangi ke dalam sumur secara vertikal dengan bagian perforasi berada di bawah. Ukur ketinggian muka air menggunakan Hobo U20. Masukkan slug ke dalam sumur, tunggu hingga volume air yang naik kembali berada di posisi setimbang dengan *water table*. Angkat slug dengan cepat, dan rekam kenaikan muka air yang turun ketika slug diangkat dengan Hobo U20 hingga mencapai keadaan setimbang. Prosedur penelitian secara umum dapat dilihat pada Gambar 5.



Gambar 5 Prosedur pengukuran konduktivitas hidrolik gambut menggunakan *slug test*

Analisis Data

Slug test adalah metode pengukuran konduktivitas hidrolik dengan menggunakan *slug* yang dimasukkan ke dalam sumur. Saat *slug* dimasukkan, maka tinggi muka air akan meningkat dan kembali menurun secara berkala hingga mencapai keadaan setimbang. Ketinggian muka air setiap menit akan terekam dalam *water logger*. Data ketinggian muka air tersebut kemudian diolah untuk mendapatkan nilai Y_t yang merupakan selisih antara ketinggian muka air pada saat t dan ketinggian muka air setimbang.

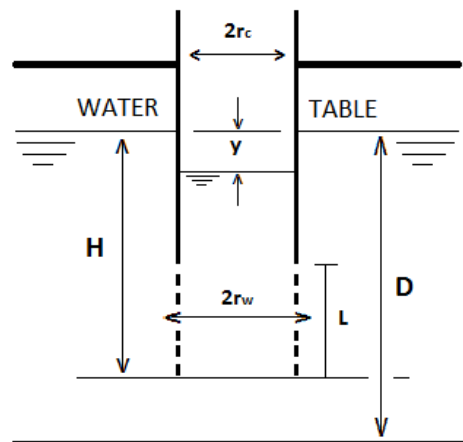
Bouwer dan Rice (1976) mengembangkan solusi untuk *slug test* untuk sumur dengan daerah penetrasi sebagian pada *unconfined aquifer*, yang merupakan modifikasi dari persamaan Thiem.

Perhitungan konduktivitas hidrolik menggunakan metode Bouwer dan Rice adalah sebagai berikut:

$$K = \frac{r_c^2 \ln(R_e/r_w)}{2L} \frac{1}{t} \ln \frac{y_0}{y_t} \dots\dots\dots(1)$$

- dimana: K = konduktivitas hidrolik
 R_e = radius efektif
 r_w = radius daerah perforasi dari pusat sumur hingga dinding akuifer
 r_c = radius sumur pada *water table*
 L = tinggi daerah perforasi pada sumur
 y_0 = tinggi muka air setimbang dengan *water table*
 y_t = tinggi muka air pada saat t
 t = waktu yang dibutuhkan hingga air kembali setimbang
 D = ketebalan *unconfined* akuifer
 H = kedalaman sumur

K adalah konduktivitas hidrolik, L adalah panjang daerah perforasi dan r adalah jari-jari piezometer tersebut. Parameter waktu (t) adalah kebalikan dari *slope* pada plot logaritma terhadap waktu. Radius efektif (R_e) adalah jarak efektif di mana tekanan diinduksi dan nilainya tergantung pada geometri sistem aliran (Bouwer dan Rice 1976).



Gambar 6 Penampang vertikal sumur uji pada gambut

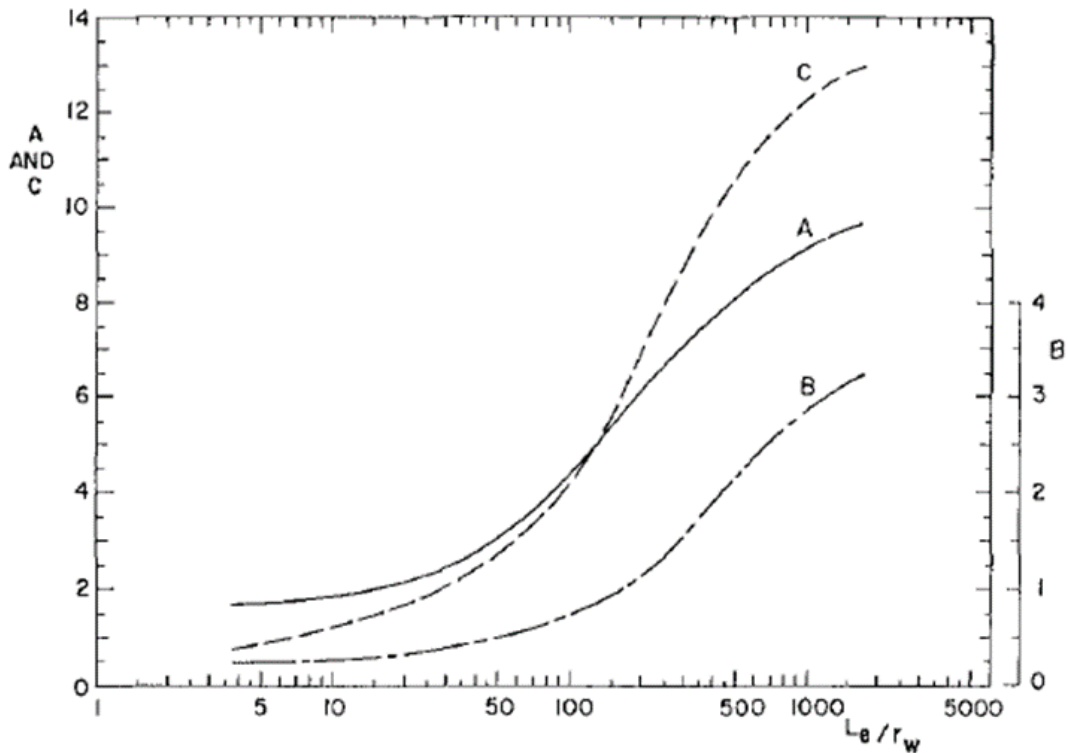
Nilai-nilai R, dinyatakan sebagai logaritma natural (R_e/r_w), ditentukan dengan hambatan listrik jaringan analog berdasarkan pada pengukuran radius piezometer, lamanya asupan, perbedaan tekanan hidrolik, dan ketebalan akuifer. Akurasi parameter $\ln(R_e/r_w)$ adalah 10-25%, tergantung pada panjang daerah perforasi. Jika $L > 0.4 H$, maka $\ln(R_e/r_w)$ harus 10% dari nilai yang sebenarnya (Bouwer dan Rice 1976).

Nilai $\ln(R_e/r_w)$ didapat dengan menggunakan rumus:

$$\ln \frac{R_e}{r_w} = \left[\frac{1.1}{\ln(H/r_w)} + \frac{A+B\ln[(D-H)/r_w]}{L/r_w} \right]^{-1} \text{ untuk } D > H, \text{ atau } \dots\dots\dots (2)$$

$$\ln \frac{R_e}{r_w} = \left[\frac{1.1}{\ln(H/r_w)} + \frac{C}{L/r_w} \right]^{-1} \text{ untuk } D = H \dots\dots\dots (3)$$

dimana nilai A, B, dan C adalah koefisien berdimensi yang merupakan fungsi dari L/r_w (Bouwer dan Rice 1976) (Gambar 7).



Gambar 7 Parameter A, B, dan C sebagai fungsi dari L/r_w untuk perhitungan $\ln(R_e/r_w)$ (Bouwer dan Rice 1976)

HASIL DAN PEMBAHASAN

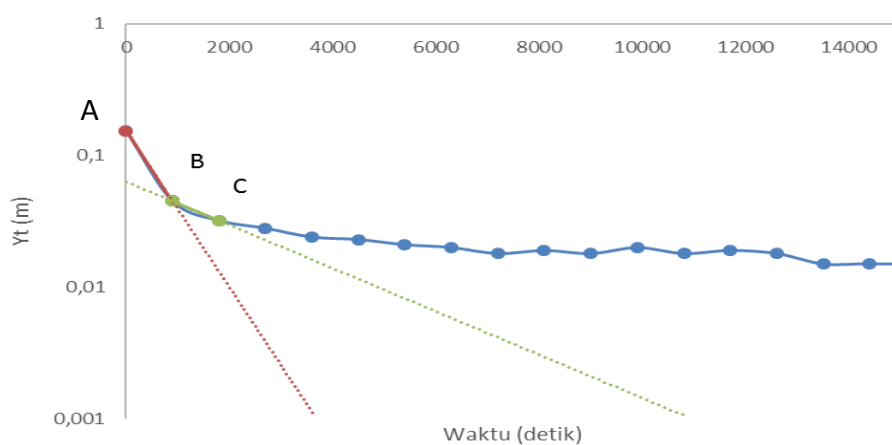
Hasil Pengukuran Konduktivitas Hidrolik Menggunakan *Slug Test*

Kapasitas tanah untuk memungkinkan air melewati masa tanah disebut permeabilitas (konduktivitas hidrolik) (Whitlow 2001). Pergerakan air di dalam tanah ditentukan oleh besarnya konduktivitas hidrolik (K). Air di dalam tanah memiliki tekanan dari beban air di atasnya. Jika terdapat kekosongan atau penurunan tekanan akibat pengambilan air dalam tanah, maka air di dalam masa tanah akan mengalir ke tekanan yang lebih rendah.

Slug test adalah salah satu dari beberapa metode yang sesuai untuk konduktivitas hidrolik (Papadopulos *et al.* 1973). Metode Hvorslev (1951) dan Bouwer dan Rice (1976) adalah metode yang paling umum diterapkan dalam analisis *slug test* (Hyder dan Butler 1995), dan yang pertama digunakan secara luas dalam studi gambut (Bradley 1996). Waktu yang dibutuhkan hingga air kembali pada keadaan setimbang sangat tergantung pada kondisi gambut di sekitar daerah perforasi (Baird *et al.* 2004). Kendala dari metode ini di antaranya gangguan potensi gambut saat instalasi pipa sumur atau penyumbatan daerah perforasi oleh bahan organik. Diperlukan perawatan yang lebih untuk memastikan bahwa gambut di sekitar daerah perforasi dapat merepresentasikan gambut yang tidak terganggu di sekitarnya.

Slug test dilakukan pada aquifer tidak tertekan, sejumlah volume air ditambahkan atau dikeluarkan dari sumur untuk kemudian diukur perubahan muka air tanah. Asumsi pada metode ini adalah: (1) formasi aliran isotropik sehubungan dengan konduktivitas hidrolik, (2) aliran di atas muka air tanah diabaikan, (3) penarikan air di sekitar sumur diabaikan, (4) penurunan tekanan saat air memasuki sumur diabaikan.

Metode *slug test* menggunakan data ketinggian muka air yang kemudian diolah untuk mendapatkan nilai Y_t , yaitu selisih antara ketinggian muka air pada saat t dan ketinggian muka air setimbang. Nilai Y_t kemudian diplotkan dengan waktu dalam bentuk logaritmik dan diberi garis lurus untuk mendapatkan nilai Y_0 dan t (Gambar 8).



Gambar 8 Grafik Y_t terhadap waktu pada slug test sumur 1 di hutan Gambut Katingan, Kalimantan Tengah

Pada saat memplotkan nilai Y_t dan t , akan didapatkan garis lurus ganda. Garis lurus pertama (AB) lebih curam dibandingkan dengan garis lurus kedua (BC). Garis AB lebih curam disebabkan oleh zona yang sangat *permeable* di sekitar sumur, yang dengan cepat mengirimkan air ke dalam sumur setelah *slug* diangkat. Kemudian, ketika tingkat air di zona *permeable* sekitar telah dialirkan ke dalam sumur, aliran mulai melambat sehingga garis BC kurang curam jika dibandingkan dengan garis AB. Nilai Y_0 ditentukan dari perpotongan garis BC dengan Y_t pada saat $t = 0$. Nilai t ditentukan dari perpotongan garis BC dengan t pada saat $Y_t = 0.001$. Nilai kedua parameter tersebut kemudian didapatkan dengan metode interpolasi.

Nilai parameter dan hasil pengukuran konduktivitas hidrolis pada 5 sumur di lahan gambut dapat dilihat pada Tabel 6 dan Tabel 7.

Tabel 6 Nilai parameter yang digunakan pada pengukuran konduktivitas hidrolis menggunakan slug test pada setiap sumur

Parameter	Sumur 1	Sumur 2	Sumur 3	Sumur 4	Sumur 5
r_c (m)	0.0254	0.0254	0.0254	0.0254	0.0254
Le (m)	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5
r_w (m)	0.0278	0.0278	0.0278	0.0278	0.0278
D (m)	3	3	3	3	3
H (m)	1.36	1.30	1.65	1.63	1.55
$\ln(R_e/r_w)$	2.1322	2.1136	2.2093	2.2037	2.1847
Y_0	0.1251	0.1832	0.0775	0.0802	0.0824
Y_t	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001
t (detik)	10851	30947	4625	14757	7273

Ket: r_c = jari-jari pipa bagian dalam; Le = tinggi daerah perforasi; r_w = jari-jari pipa bagian luar; D = ketebalan *unconfined* akuifer; H = tinggi muka air dari dasar sumur hingga keadaan setimbang; Y_0 = tinggi muka air setimbang dengan *water table*; Y_t = tinggi muka air pada saat t ; t = waktu yang dibutuhkan hingga air kembali setimbang

Tabel 7 Konduktivitas hidrolis horisontal pada tiap sumur

Sumur	Konduktivitas Hidrolis (ms^{-1})
1	6.12×10^{-7}
2	2.30×10^{-7}
3	1.34×10^{-6}
4	4.22×10^{-7}
5	8.55×10^{-7}

Tabel 7 memperlihatkan nilai K dari lahan gambut adalah $2.30 \times 10^{-7} - 1.34 \times 10^{-6} ms^{-1}$ dengan rata-rata sebesar $6.92 \times 10^{-7} ms^{-1}$. Nilai *standard error* untuk pengukuran K yang telah dilakukan adalah sebesar $1.92 \times 10^{-7} ms^{-1}$, sehingga nilai K minimum dan maksimum untuk lahan gambut adalah sebesar $5 \times 10^{-7} ms^{-1}$ dan $8.84 \times 10^{-7} ms^{-1}$.

Pengaruh Kedalaman Gambut Terhadap Nilai Konduktivitas Hidrolik

Nilai konduktivitas hidrolik dalam literatur ilmiah berkisar antara 10^{-8} ms^{-1} hingga 10^{-3} ms^{-1} (Letts *et al.* 2000). Pada penelitian yang dilakukan oleh Hogan pada Juli hingga Oktober 2003 di Saskatchewan, Kanada, nilai K dari lahan gambut untuk kedalaman 1 m adalah sebesar $6.11 \times 10^{-6} \text{ ms}^{-1}$.

Ronkanen dan Klove (2005) melakukan penelitian mengenai konduktivitas hidrolik gambut pada setiap kedalaman di hutan gambut Kompsasuo dan Ruka, Finlandia. Hasil yang diperoleh dapat dilihat pada Tabel 8.

Tabel 8 Nilai K di hutan gambut Kompsasuo dan Ruka, Finlandia, pada kedalaman 0.1- 0.6 m di bawah permukaan tanah (Ronkanen dan Klove 2005)

Kedalaman dari permukaan tanah (m)	Konduktivitas Hidrolik (ms^{-1})	
	Kompsasuo	Ruka
0.1	1.9×10^{-3}	1.0×10^{-3}
0.2	1.6×10^{-3}	5.5×10^{-4}
0.3	1.7×10^{-3}	4.8×10^{-4}
0.4	1.8×10^{-3}	3.7×10^{-4}
0.5	9.6×10^{-4}	3.5×10^{-4}
0.6	1.9×10^{-4}	5.8×10^{-5}

Jika digabungkan dengan nilai K pada penelitian yang dilakukan Hogan di Saskatchewan (pada kedalaman 1 m = $6.11 \times 10^{-6} \text{ ms}^{-1}$) dan penelitian di hutan gambut Katingan (pada kedalaman 1.5 m = $6.92 \times 10^{-7} \text{ ms}^{-1}$), maka dapat disimpulkan bahwa nilai konduktivitas hidrolik akan semakin kecil seiring dengan bertambahnya kedalaman. Hal ini dikarenakan tingkat kematangan gambut yang berbeda. Semakin dalam, tingkat dekomposisi gambut semakin tinggi. Hal ini menyebabkan porositas tanah berkurang, sehingga pori-pori yang terdapat dalam gambut akan semakin sedikit. Oleh karena itu, nilai K akan semakin kecil dikarenakan permeabilitas gambut yang berkurang.

Perbandingan Nilai Konduktivitas Hidrolik Gambut Tropis dan Subtropis

Gambut tropis memiliki perbedaan karakteristik vegetasi dengan gambut subtropis. Hal ini menyebabkan nilai konduktivitas hidrolik yang dimiliki oleh gambut tropis berbeda dengan gambut subtropis. Gambut tropis memiliki nilai konduktivitas hidrolik yang lebih besar jika dibandingkan dengan gambut subtropis. Gambut tropis didominasi oleh pohon-pohon yang merupakan spesies utama pembentuk gambut, sedangkan gambut subtropis didominasi oleh rumput dan semak-semak rendah. Akibatnya gambut tropis memiliki konduktivitas hidrolik lebih tinggi, terutama di lapisan atas karena memiliki pori yang lebih besar dari sisa-sisa pohon (Page *et al.* 2009).

Konduktivitas hidrolik gambut dari kelima sumur uji di Katingan umumnya memiliki nilai yang lebih kecil jika dibandingkan dengan nilai K gambut subtropis (Tabel 3). Namun kelima nilai K tersebut masih berada dalam rentang nilai gambut subtropis yakni $10^{-8} - 10^{-2} \text{ ms}^{-1}$.

Perbandingan Nilai Konduktivitas Hidrolik Gambut Katingan dengan Gambut Tropis Lainnya

Nilai K yang didapat pada penelitian ini lebih rendah jika dibandingkan dengan nilai K gambut tropis (Tabel 9) yang didapat dari beberapa penelitian lain. Nilai K gambut yang telah diperoleh juga lebih rendah jika dibandingkan dengan nilai K tanah mineral pada penelitian yang dilakukan oleh Juandi *et al.* (2012) ($9.2 \times 10^{-6} \text{ ms}^{-1}$) dan Paloloang *et al.* (2011) ($8.58 \times 10^{-6} \text{ ms}^{-1}$). Sedangkan menurut Letts *et al.* (2000) nilai K gambut lebih besar dari nilai K pada tanah mineral. Menurut tabel nilai K dari USBR (1993) (Tabel 4), tingkat permeabilitas dari lahan gambut Katingan termasuk kategori rendah, dengan endapan lepas berupa pasir halus.

Tabel 9 Nilai konduktivitas hidrolik (K) gambut tropis dari beberapa studi

Lokasi	K (ms^{-1})	Referensi
Klang, Malaysia	$5.56 \times 10^{-4} - 5.67 \times 10^{-3}$	Katimon dan Mutalib (1997)
Loagan Bunut National Park, Sarawak, Malaysia	$4.40 \times 10^{-6} - 3.77 \times 10^{-3}$	Sayok <i>et al.</i> (2008)
Loagan Bunut National Park, Sarawak, Malaysia	3.79×10^{-3}	Melling <i>et al.</i> (2007)

Nilai K yang rendah dikarenakan waktu pengambilan data pada *water logger* yang terlalu lama yaitu satu kali pengambilan data setiap 15 menit. Akibatnya perubahan ketinggian muka air pada 15 menit pertama ketika slug diangkat tidak terekam dalam *water logger*. Sehingga pada saat menarik garis lurus pada plot Yt dan waktu, garis yang didapatkan akan lebih landai dan berdampak pada nilai t yang didapatkan akan semakin besar. Bouwer dan Rice (1976) memasang *water logger* dengan pengambilan data pada hitungan detik.

Pengaruh Tutupan Lahan Terhadap Konduktivitas Hidrolik Gambut

Sumur uji pada penelitian ini diletakkan pada 5 titik pengukuran. Sumur 1 hingga sumur 4 memiliki tutupan vegetasi berupa semak-semak, sedangkan sumur 5 memiliki vegetasi berupa pohon-pohon. Nilai K yang didapat pada sumur 5 lebih besar jika dibandingkan dengan nilai K pada sumur 1, sumur 2, dan sumur 4. Hal ini dikarenakan lokasi penelitian pada sumur 5 didominasi oleh pohon-pohon dengan aktivitas akar yang tinggi sehingga gambut di bawahnya memiliki banyak pori yang menyebabkan nilai K lebih besar dari sumur 1, sumur 2, dan sumur 4 yang didominasi oleh tumbuhan semak dengan akar serabut yang dangkal, sehingga lahan tersebut hanya memiliki sedikit pori makro. Archer *et al.* (2002), membandingkan nilai K pada dua tutupan lahan, yakni rumput dan semak. Hasil yang diperoleh memperlihatkan nilai K pada tutupan semak lebih besar jika dibandingkan dengan tutupan rumput. Hal ini dikarenakan tumbuhan semak memiliki kerapatan dan aktivitas akar yang lebih besar dibandingkan rumput, sehingga memiliki lebih banyak pori makro yang akan meningkatkan nilai K.

Sumur 3 memiliki nilai K yang paling tinggi di antara keempat sumur lainnya. Hal ini dikarenakan pada saat pengambilan data di lapangan terjadi hujan

yang cukup lebat sehingga permukaan gambut memiliki genangan air yang tinggi. Hal ini mempengaruhi nilai K karena ketinggian air dari dasar sumur hingga water table (H) merupakan salah satu parameter pembagi pada persamaan Thiem yang digunakan. Parameter pembagi tersebut dalam bentuk $\ln(H/r_w)$, sehingga semakin tinggi nilai H maka parameter pembagi akan semakin kecil dan nilai K yang didapatkan akan semakin besar. Asmaranto *et al.* (2012) menyatakan bahwa semakin besar nilai kadar air maka konduktivitas hidrolis juga semakin besar. Hal ini dikarenakan pergerakan air secara horisontal akan semakin cepat jika tanah berada dalam keadaan jenuh. Selain itu, Baird *et al.* (2004) mengemukakan bahwa semakin besar tinggi muka air, maka nilai konduktivitas hidrolis juga semakin besar. Hal ini dikarenakan muka air yang tinggi memiliki tekanan yang lebih besar dibandingkan dengan muka air yang rendah. Beberapa studi menemukan bahwa kenaikan tekanan memberikan hasil konduktivitas hidrolis lebih tinggi pada *slug test* (Baird *et al.* 2004).

Pengaruh Nilai *Bulk Density* Terhadap Nilai Konduktivitas Hidrolis Gambut

Nilai rata-rata *bulk density* pada gambut Katingan sebesar 0.131 g cm^{-3} (Boehm dan Frank 2008). Nilai *bulk density* pada beberapa gambut tropis lainnya dapat dilihat pada Tabel 10. Melling *et al.* (2007) melakukan penelitian di Loagan Bunut National Park, Malaysia, dan mendapatkan nilai *bulk density* sebesar 0.0759 g cm^{-3} , dengan konduktivitas hidrolis sebesar $3.79 \times 10^{-3} \text{ ms}^{-1}$. Jika dibandingkan dengan lokasi penelitian di Katingan, nilai *bulk density* gambut Katingan lebih besar dari nilai *bulk density* gambut di Loagan Bunut National Park. Sementara itu, nilai konduktivitas hidrolis Katingan lebih kecil dari nilai konduktivitas hidrolis di Loagan Bunut National Park. Hal ini sesuai dengan pernyataan Lewis *et al.* (2011) bahwa semakin besar nilai *bulk density* maka nilai konduktivitas hidrolis akan semakin kecil dikarenakan sedikitnya rongga dalam tanah, yang akan menghambat pergerakan air.

Tabel 10 Nilai *bulk density* pada gambut tropis dari beberapa studi

Lokasi	<i>Bulk Density</i> (g cm^{-3})	Referensi
Sebangau, Kalimantan Tengah, Indonesia	0.02 – 0.21	Wosten <i>et al.</i> (2008)
Danau Sentarum National Park, Kalimantan Barat, Indonesia	0.054 – 0.371	Warren <i>et al.</i> (2012)
Sebangau Natural Laboratory for Peat Swamp Forest, Kalimantan Tengah, Indonesia	0.059 – 0.329	Warren <i>et al.</i> (2012)
Berbak National Park, Jambi, Indonesia	0.056 – 0.172	Warren <i>et al.</i> (2012)

KESIMPULAN DAN SARAN

Kesimpulan

Nilai konduktivitas hidrolik gambut dari sumur 1 hingga sumur 5 berturut-turut adalah sebesar $6.12 \times 10^{-7} \text{ ms}^{-1}$, $2.30 \times 10^{-7} \text{ ms}^{-1}$, $1.34 \times 10^{-6} \text{ ms}^{-1}$, $4.22 \times 10^{-7} \text{ ms}^{-1}$, dan $8.55 \times 10^{-7} \text{ ms}^{-1}$, dengan rata-rata sebesar $6.92 \times 10^{-7} \pm 1.92 \times 10^{-7} \text{ ms}^{-1}$. Nilai K akan berkurang seiring dengan bertambahnya kedalaman gambut. Nilai K yang didapat umumnya lebih rendah jika dibandingkan dengan nilai K pada gambut subtropis, sementara seharusnya gambut tropis memiliki nilai K yang lebih besar dari gambut subtropis. Nilai K dengan vegetasi berupa pohon-pohon lebih tinggi jika dibandingkan dengan nilai K pada vegetasi berupa semak-semak. Hal ini dikarenakan aktivitas akar pada pepohonan lebih tinggi dari aktivitas akar serabut pada semak-semak, sehingga permukaan di bawah pepohonan memiliki pori-pori yang lebih besar dan nilai K yang lebih tinggi. Nilai K memiliki korelasi negatif dengan *bulk density*. Semakin besar *bulk density* maka nilai K akan semakin kecil, begitu juga sebaliknya.

Saran

Pengukuran konduktivitas hidrolik pada lahan gambut sebaiknya dilakukan dengan pengambilan titik lokasi yang lebih banyak dan dilakukan beberapa ulangan pada setiap sumur agar nilai *standard error* yang diperoleh lebih kecil. Alat yang digunakan untuk merekam data (*water logger*) dipasang dengan interval waktu pengambilan data yang lebih kecil sehingga nilai konduktivitas hidrolik yang didapat menjadi lebih akurat.

DAFTAR PUSTAKA

- Archer NAL, Quinton JN, Hess TM. 2002. Below-ground relationships of soil texture, roots, and hydraulic conductivity in two-phase mosaic vegetation in South-east Spain. *Journal of Arid Environments*. 52: 535-553. doi:10.1006/jare.2002.1011.
- Asmaranto R, Soemitro RAA, Anwar N. 2012. Penentuan nilai konduktivitas hidrolik tanah tidak jenuh menggunakan uji resistivitas di laboratorium. *Jurnal Teknik Pengairan*. 3(1): 81 – 86.
- Baird AJ, Surridge BWJ, Money RP. 2004. An assessment of the piezometer method for measuring the hydraulic conductivity of a *Cladium mariscus* – *Phragmites australis* root mat in a Norfolk (UK) fen. *Hydrological Processes* 18: 275-291.
- Beckwith CW, Baird AJ, Heathwaite AL. 2003a. Anisotropy and depth-related heterogeneity of hydraulic conductivity in a bog peat. I: laboratory measurements. *Hydrological Processes*. 17: 89–101.
- Boehm V, Frank J. 2008. Peat dome measurements in tropical peatlands of Central Kalimantan with a high-resolution airborne laser scanner to achieve digital

- elevation models. 13th International Peat Congress 8 to 13 June 2008, Tullamore, Ireland.
- Boelter DH. 1964. Water storage characteristics of several peats in situ. *Soil Sci.* 28: 433-435.
- Bouwer H, and Rice RC. 1976. A slug test for determining hydraulic conductivity of unconfined aquifers with completely or partially penetrating wells. *Water Resources Research.* 12(3).
- Bradley C. 1996. Transient modeling of water table variation in a floodplain wetland, Narborough Bog, Leicestershire. *J. Hydrology* 185: 87-114.
- Bullock CH, Collier MJ, Convery F. 2012. Peatlands, their economic value and priorities for their future management - the example of Ireland. *Land Use Policy.* 29: 921-928.
- Campbell MD, Starrett MS, Fowler JD, Klein JJ. 1990. Slug tests and hydraulic conductivity. *Groundwater Management.* 4: 85-99.
- Charman D. 2002. *Peatlands and Environmental Change*. England: John Wiley and Sons Ltd. 1-288.
- Chason DB, Siegel DI. 1986. Hydraulic conductivity and related physical-properties of peat, Lost River Peatland, Northern Minnesota. *Soil Science.* 142: 91-99.
- Driessen PM, Rochimah L. 1976. Physical properties of lowland peats from Kalimantan. in: peat and podzolic soils and their potential for agriculture in Indonesia. Proceedings, AT A. Midterm Seminar, Tugu. Soil Research Intitute, Bogor.
- Fraser CJD, Roulet NT, Moore TR. 2001. Hydrology and dissolved organic carbon biogeochemistry in an ombrotrophic bog. *Hydrological Processes.* 15: 3151-3166.
- Fredlund DG, Rahardjo H. 1993. *Soil Mechanics for Unsaturated Soils*. New York: Willey Publications.
- Gnatowski T, Szatyłowicz J, Brandyk T, Kechavarzi C. 2010. Hydraulic properties of fen peat soils in Poland. *Geoderma.* 154: 188-195. DOI: 10.1016/j.geoderma.2009.02.02.
- Hoag RS, Price JS. 1995. A field-scale, natural gradient solute transport experiment in peat at a newfoundland blanket bog. *Journal of Hydrology.* 172: 171-184.
- Hogan JM. 2006. Hydrologic behaviour and hydraulic properties of a patterned fen in Saskatchewan. *Journal of Environments.*
- Holden J, Burt TP. 2003. Hydraulic conductivity in upland blanket peat: measurement and variability. *Hydrological Processes.* 17: 1227-1237. DOI: 10.1002/Hyp.1182.
- Holden J. 2005. Peatland hydrology and carbon release: why small-scale process matters. *Philosophical Transactions of The Royal Society A.* 363: 2891-2913.
- Hvorslev MJ. 1951. Time lag and soil permeability in groundwater observations. *Waterways Experimental Station.* 36.
- Hyder Z, Butler JJ. 1995. Slug tests in unconfined formations: an assessment of the Bouwer and Rice technique. *Ground Water.* 33: 16-22.
- ICCC. 2013. *Kajian Definisi Lahan Gambut dan Metodologi Pemetaan Lahan Gambut*. Jakarta.

- Juandi M, Ahmad A, Edisar M, Syamsulhuda. 2012. Analisis konduktivitas hidrolika pada sistim akuifer. *Komunikasi Fisika Indonesia*. 9(4): 387-400.
- Katimon A, Mutalib A. 1997. Field hydraulic conductivity of some Malaysian peat. *Kej. Awam*. 10: 1.
- Kennedy GW, Price JS. 2005. A conceptual model of volume-change controls on the hydrology of cutover peats. *Journal of Hydrology*. 302: 13–27. DOI 10.1016/j.jhydrol.2004.06.024.
- Kiely G, McGoff N, Eaton J, Xu X, Leahy P, Carton O. 2010. SoilC - Measurement and modelling of soil carbon stocks and stock changes in Irish soils. EPA: Johnstown Castle, Wexford.
- Kneale PE. 1987. Sensitivity of the groundwater mound model for predicting mire topography. *Nordic Hydrology*. 18: 193–202.
- Knott JF, Nuttle WK, Hemond HF. 1987. Hydrologic parameters of salt marsh peat. *Hydrological Processes*. 1: 211-220.
- Krecek J, Haigh M. 2006. Environmental role of wetlands in headwaters. Netherlands: *Springer*. 1-338.
- Letts MG, Roulet NT, Comer NT, Skarupa MR, Verseghe DL. 2000. Parameterization of peatland hydraulic properties for the Canadian Land Surface Scheme. *Atmosphere-Ocean* 38(1): 141-160.
- Lewis C, Albertson J, Xu X, Kiely G. 2011. Spatial variability of hydraulic conductivity and bulk density along a blanket peatland hillslope. *Hydrol. Process*. Doi: 10.1002/hyp.8252.
- Melling L, Katimon A, Joo GK, Uyo LJ, Sayok A, Hatano R. 2007. Hydraulic conductivity and moisture characteristics of tropical peatland – preliminary investigation. Proceedings of Soils Science Conference of Malaysia 2007, Sarawak.
- Mitsch WJ, Gosselink JG, Anderson CJ, Zhang L. 2009. Wetland ecosystems. USA: John Wiley and Sons, Inc. 1-277.
- Moore PD, Bellamy DJ. 1974. *Peatlands*. Great Britain: Unwin Brothers Limited. 1-213.
- Page S, Hoscilo A, Wosten H, Jauhiainen J, Silvius M, Rieley J, Ritzema H, Tansey K, Graham L, Vasander H *et al.* 2009. Restoration ecology of lowland tropical peatlands in southeast current knowledge and future research directions. *Ecosystems*. 12: 888-905.
- Päivänen J. 1973. Hydraulic conductivity and water retention in peat soils. Proceedings, for public criticism in Auditorium I of Metsätalo, Unioninkatu 40 B.
- Paloloang AK, Sinukaban N, Tarigan SD, Hendrayanto, Hasanah U. 2011. Kajian karakteristik dan konduktivitas hidrolik tanah jenuh pada lahan agroforestri kakao. *J. Agroland*. 18(3): 178-188.
- Papadopulos SS, Bredehoeft JD, Cooper HH. 1973. On the analysis of slug test data. *Water Resources Research*. 9(4): 1087-1089.
- Pollock CR, Robbins GA, Mathewson CC. 1983. Ground-water monitoring in clay-rich strata – Techniques, difficulties, and potential solutions. Proceedings of the 3rd National Symposium on Aquifer Restoration and Ground-Water Monitoring, NWWA, Dublin, Ohio.
- Price JS, Fitzgibbon JE. 1987. Groundwater storage – streamflow relations durin winter in a sub arctic wetland, Saskatchewan. *Earth Sci*. 24: 2074-2081.

- Price JS, Schlotzhauer SM. 1999. Importance of shrinkage and compression in determining water storage changes in peat: the case of a mined peatland. *Hydrological Processes*. 13: 2591-2601.
- Ronkanen AK, Klove B. 2005. Hydraulic soil properties of peatlands treating municipal waste water and peat harvesting runoff. *Suoseura-Finnish Peatland Society*. 56(2): 43-56.
- Rosyidah E, Wirosodarmo R. 2013. Pengaruh sifat fisik tanah pada konduktivitas hidrolis jenuh di 5 penggunaan lahan (studi kasus di Kelurahan Sumbersari Malang). *Agritech*. 33(3).
- Sayok AK, Nik AR, Melling L, Samad RA, Efransjah E. 2008. Some characteristics of peat in Loagan Bunut National Park, Sarawak, Malaysia. International Symposium, Workshop and Seminar on Tropical Peatland, Yogyakarta, Indonesia. 27-31 August 2008.
- Schlotzhauer SM, Price JS. 1999. Soil water flow dynamics in a managed cutover peat field, Quebec: Field and laboratory investigations. *Water Resources Research*. 35: 3675-3683.
- Tomlinson RW, Davidson L. 2000. Estimates of carbon stores in four Northern Irish lowland raised bogs. *SUO*. 15: 169-179.
- US Bureau of Reclamation. 1993. Drainage Manual. *A Water Resources Technical Publication*.
- Van der Schaaf S. 2004. A single well pumping and recovery test to measure in situ acrotelm transmissivity in raised bogs. *J. Hydrology* 290(1): 152-160.
- Verry ES, Boelter DH. 1978. Peatland hydrology in wetland functions and values: the state of our understanding. AWRA. November: 389-402.
- Wahyunto, Dariah A, Agus F. 2004. *Sebaran Gambut dan Kandungan Karbon di Sumatera dan Kalimantan*. *Wetlands International*: Bogor.
- Warburton J, Holden J, Mills A. 2004. Hydrological controls of surficial mass movements in peat. *Earth-Science Reviews*. 67: 139-156.
- Warren MW, Kauffman JB, Murdiyarso D, Anshari G, Hergoualc'h K, Kurnianto S, Purbopuspito J, Gusmayanti E, Afifudin M, Rahajoe J *et al.* 2012. A cost-efficient method to assess carbon stocks in tropical peat soil. *Biogeosciences*. 9: 4477-4485.
- Waterra. 2012. Innovations in water monitoring. Stratford Road. Shirley.
- Wellock M, La Perle C, Kiely C. 2011. Carbon stocks of Afforested peatlands (In press). *Journal of Forestry*.
- Whitlow R. 2001. Basic soil mechanics. *Pearson Education*. London. ISBN: 0-582-38109-6.
- Wong LS, Hashim R, Ali FH. 2009. A review on hydraulic conductivity and compressibility of peat. *Journal of Applied Sciences*. 9(18): 3207-3218.
- Wosten JHM, Clymans E, Page SE, Rieley JO, Limin SH. 2008. Peat – water interrelationships in a tropical peatland ecosystem in Southeast Asia. *Catena*. 73: 212-224.

LAMPIRAN

Lampiran 1 Pengukuran Y_t saat *slug in* pada sumur 1

Tanggal – Waktu (<i>Slug In</i>)	Tinggi Muka Air (cm)	Y_t (cm)	Y_t (meter)	Waktu (menit)	Waktu (detik)
04/26/15 10:30:00 AM	1.7	15.4	0.154	0	0
04/26/15 10:45:00 AM	-9.2	4.5	0.045	15	900
04/26/15 11:00:00 AM	-10.5	3.2	0.032	30	1800
04/26/15 11:15:00 AM	-10.9	2.8	0.028	45	2700
04/26/15 11:30:00 AM	-11.3	2.4	0.024	60	3600
04/26/15 11:45:00 AM	-11.4	2.3	0.023	75	4500
04/26/15 12:00:00 PM	-11.6	2.1	0.021	90	5400
04/26/15 12:15:00 PM	-11.7	2	0.02	105	6300
04/26/15 12:30:00 PM	-11.9	1.8	0.018	120	7200
04/26/15 12:45:00 PM	-11.8	1.9	0.019	135	8100
04/26/15 01:00:00 PM	-11.9	1.8	0.018	150	9000
04/26/15 01:15:00 PM	-11.7	2	0.02	165	9900
04/26/15 01:30:00 PM	-11.9	1.8	0.018	180	10800
04/26/15 01:45:00 PM	-11.8	1.9	0.019	195	11700
04/26/15 02:00:00 PM	-11.9	1.8	0.018	210	12600
04/26/15 02:15:00 PM	-12.2	1.5	0.015	225	13500
04/26/15 02:30:00 PM	-12.2	1.5	0.015	240	14400
04/26/15 02:45:00 PM	-12.3	1.4	0.014	255	15300
04/26/15 03:00:00 PM	-12.9	0.8	0.008	270	16200
04/26/15 03:15:00 PM	-12.4	1.3	0.013	285	17100
04/26/15 03:30:00 PM	-12.4	1.3	0.013	300	18000
04/26/15 03:45:00 PM	-12.1	1.6	0.016	315	18900
04/26/15 04:00:00 PM	-12.6	1.1	0.011	330	19800
04/26/15 04:15:00 PM	-12.4	1.3	0.013	345	20700
04/26/15 04:30:00 PM	-12.4	1.3	0.013	360	21600
04/26/15 04:45:00 PM	-12.6	1.1	0.011	375	22500
04/26/15 05:00:00 PM	-12.4	1.3	0.013	390	23400
04/26/15 05:15:00 PM	-12.5	1.2	0.012	405	24300
04/26/15 05:30:00 PM	-12.4	1.3	0.013	420	25200
04/26/15 05:45:00 PM	-12.5	1.2	0.012	435	26100
04/26/15 06:00:00 PM	-12.4	1.3	0.013	450	27000
04/26/15 06:15:00 PM	-12.6	1.1	0.011	465	27900
04/26/15 06:30:00 PM	-12.6	1.1	0.011	480	28800
04/26/15 06:45:00 PM	-12.4	1.3	0.013	495	29700
04/26/15 07:00:00 PM	-12.7	1	0.01	510	30600
04/26/15 07:15:00 PM	-12.5	1.2	0.012	525	31500
04/26/15 07:30:00 PM	-12.5	1.2	0.012	540	32400
04/26/15 07:45:00 PM	-12.5	1.2	0.012	555	33300

04/26/15 08:00:00 PM	-12.7	1	0.01	570	34200
04/26/15 08:15:00 PM	-12.4	1.3	0.013	585	35100
04/26/15 08:30:00 PM	-12.8	0.9	0.009	600	36000
04/26/15 08:45:00 PM	-12.6	1.1	0.011	615	36900
04/26/15 09:00:00 PM	-12.6	1.1	0.011	630	37800
04/26/15 09:15:00 PM	-12.8	0.9	0.009	645	38700
04/26/15 09:30:00 PM	-12.8	0.9	0.009	660	39600
04/26/15 09:45:00 PM	-12.8	0.9	0.009	675	40500
04/26/15 10:00:00 PM	-12.9	0.8	0.008	690	41400
04/26/15 10:15:00 PM	-12.8	0.9	0.009	705	42300
04/26/15 10:30:00 PM	-12.7	1	0.01	720	43200
04/26/15 10:45:00 PM	-13	0.7	0.007	735	44100
04/26/15 11:00:00 PM	-13	0.7	0.007	750	45000
04/26/15 11:15:00 PM	-13.1	0.6	0.006	765	45900
04/26/15 11:30:00 PM	-12.8	0.9	0.009	780	46800
04/26/15 11:45:00 PM	-13	0.7	0.007	795	47700
04/27/15 12:00:00 AM	-12.9	0.8	0.008	810	48600
04/27/15 12:15:00 AM	-12.9	0.8	0.008	825	49500
04/27/15 12:30:00 AM	-13	0.7	0.007	840	50400
04/27/15 12:45:00 AM	-13.1	0.6	0.006	855	51300
04/27/15 01:00:00 AM	-13.1	0.6	0.006	870	52200
04/27/15 01:15:00 AM	-13.2	0.5	0.005	885	53100
04/27/15 01:30:00 AM	-13.2	0.5	0.005	900	54000
04/27/15 01:45:00 AM	-13.2	0.5	0.005	915	54900
04/27/15 02:00:00 AM	-13.3	0.4	0.004	930	55800
04/27/15 02:15:00 AM	-13.2	0.5	0.005	945	56700
04/27/15 02:30:00 AM	-13.3	0.4	0.004	960	57600
04/27/15 02:45:00 AM	-12.9	0.8	0.008	975	58500
04/27/15 03:00:00 AM	-13.2	0.5	0.005	990	59400
04/27/15 03:15:00 AM	-13.2	0.5	0.005	1005	60300
04/27/15 03:30:00 AM	-13	0.7	0.007	1020	61200
04/27/15 03:45:00 AM	-13.3	0.4	0.004	1035	62100
04/27/15 04:00:00 AM	-13	0.7	0.007	1050	63000
04/27/15 04:15:00 AM	-13.5	0.2	0.002	1065	63900
04/27/15 04:30:00 AM	-13.5	0.2	0.002	1080	64800
04/27/15 04:45:00 AM	-13.3	0.4	0.004	1095	65700
04/27/15 05:00:00 AM	-13.4	0.3	0.003	1110	66600
04/27/15 05:15:00 AM	-13.3	0.4	0.004	1125	67500
04/27/15 05:30:00 AM	-13.3	0.4	0.004	1140	68400
04/27/15 05:45:00 AM	-13.5	0.2	0.002	1155	69300
04/27/15 06:00:00 AM	-13.4	0.3	0.003	1170	70200
04/27/15 06:15:00 AM	-13.3	0.4	0.004	1185	71100
04/27/15 06:30:00 AM	-13.7	0	0	1200	72000
04/27/15 06:45:00 AM	-13.6	0.1	0.001	1215	72900

04/27/15 07:00:00 AM	-13.7	0	0	1230	73800
04/27/15 07:15:00 AM	-13.6	0.1	0.001	1245	74700
04/27/15 07:30:00 AM	-13.7	0	0	1260	75600

Lampiran 2 Pengukuran Y_t saat *slug out* pada sumur 1

Tanggal – Waktu (<i>Slug Out</i>)	Tinggi Muka Air (cm)	Y_t (cm)	Y_t (meter)	Waktu (menit)	Waktu (detik)
04/27/15 07:45:00 AM	-30.8	19.7	0.197	0	0
04/27/15 08:00:00 AM	-28.6	17.5	0.175	15	900
04/27/15 08:15:00 AM	-27.2	16.1	0.161	30	1800
04/27/15 08:30:00 AM	-25.9	14.8	0.148	45	2700
04/27/15 08:45:00 AM	-24.6	13.5	0.135	60	3600
04/27/15 09:00:00 AM	-23.6	12.5	0.125	75	4500
04/27/15 09:15:00 AM	-22.5	11.4	0.114	90	5400
04/27/15 09:30:00 AM	-21.7	10.6	0.106	105	6300
04/27/15 09:45:00 AM	-21	9.9	0.099	120	7200
04/27/15 10:00:00 AM	-20.6	9.5	0.095	135	8100
04/27/15 10:15:00 AM	-19.8	8.7	0.087	150	9000
04/27/15 10:30:00 AM	-19.3	8.2	0.082	165	9900
04/27/15 10:45:00 AM	-19	7.9	0.079	180	10800
04/27/15 11:00:00 AM	-18.4	7.3	0.073	195	11700
04/27/15 11:15:00 AM	-18.2	7.1	0.071	210	12600
04/27/15 11:30:00 AM	-17.7	6.6	0.066	225	13500
04/27/15 11:45:00 AM	-17.8	6.7	0.067	240	14400
04/27/15 12:00:00 PM	-17.3	6.2	0.062	255	15300
04/27/15 12:15:00 PM	-17	5.9	0.059	270	16200
04/27/15 12:30:00 PM	-16.3	5.2	0.052	285	17100
04/27/15 12:45:00 PM	-14	2.9	0.029	300	18000
04/27/15 01:00:00 PM	-13.1	2	0.02	315	18900
04/27/15 01:15:00 PM	-12.7	1.6	0.016	330	19800
04/27/15 01:30:00 PM	-12.2	1.1	0.011	345	20700
04/27/15 01:45:00 PM	-12	0.9	0.009	360	21600
04/27/15 02:00:00 PM	-11.9	0.8	0.008	375	22500
04/27/15 02:15:00 PM	-11.5	0.4	0.004	390	23400
04/27/15 02:30:00 PM	-11.5	0.4	0.004	405	24300
04/27/15 02:45:00 PM	-11.1	0	0	420	25200

Lampiran 3 Pengukuran Y_t saat *slug in* pada sumur 2

Tanggal – Waktu (<i>Slug In</i>)	Tinggi Muka Air (cm)	Y_t (cm)	Y_t (meter)	Waktu (menit)	Waktu (detik)
04/26/15 11:15:00 AM	0.2	20.2	0.202	0	0
04/26/15 11:45:00 AM	-9.2	10.8	0.108	15	900
04/26/15 12:00:00 PM	-10.5	9.5	0.095	30	1800
04/26/15 12:15:00 PM	-11.5	8.5	0.085	45	2700
04/26/15 12:30:00 PM	-11.7	8.3	0.083	60	3600
04/26/15 12:45:00 PM	-12.3	7.7	0.077	75	4500
04/26/15 01:00:00 PM	-12.4	7.6	0.076	90	5400
04/26/15 01:15:00 PM	-12.2	7.8	0.078	105	6300
04/26/15 01:30:00 PM	-12.5	7.5	0.075	120	7200
04/26/15 01:45:00 PM	-12.6	7.4	0.074	135	8100
04/26/15 02:00:00 PM	-12.7	7.3	0.073	150	9000
04/26/15 02:15:00 PM	-12.8	7.2	0.072	165	9900
04/26/15 02:30:00 PM	-13	7	0.07	180	10800
04/26/15 02:45:00 PM	-13	7	0.07	195	11700
04/26/15 03:00:00 PM	-18.4	1.6	0.016	210	12600
04/26/15 03:15:00 PM	-18.4	1.6	0.016	225	13500
04/26/15 03:30:00 PM	-18.2	1.8	0.018	240	14400
04/26/15 03:45:00 PM	-18.3	1.7	0.017	255	15300
04/26/15 04:00:00 PM	-18.4	1.6	0.016	270	16200
04/26/15 04:15:00 PM	-18.5	1.5	0.015	285	17100
04/26/15 04:30:00 PM	-18.4	1.6	0.016	300	18000
04/26/15 04:45:00 PM	-18.5	1.5	0.015	315	18900
04/26/15 05:00:00 PM	-18.5	1.5	0.015	330	19800
04/26/15 05:15:00 PM	-18.6	1.4	0.014	345	20700
04/26/15 05:30:00 PM	-18.6	1.4	0.014	360	21600
04/26/15 05:45:00 PM	-18.5	1.5	0.015	375	22500
04/26/15 06:00:00 PM	-18.5	1.5	0.015	390	23400
04/26/15 06:15:00 PM	-18.5	1.5	0.015	405	24300
04/26/15 06:30:00 PM	-18.5	1.5	0.015	420	25200
04/26/15 06:45:00 PM	-18.6	1.4	0.014	435	26100
04/26/15 07:00:00 PM	-18.7	1.3	0.013	450	27000
04/26/15 07:15:00 PM	-18.6	1.4	0.014	465	27900
04/26/15 07:30:00 PM	-18.5	1.5	0.015	480	28800
04/26/15 07:45:00 PM	-18.7	1.3	0.013	495	29700
04/26/15 08:00:00 PM	-18.7	1.3	0.013	510	30600
04/26/15 08:15:00 PM	-18.7	1.3	0.013	525	31500
04/26/15 08:30:00 PM	-18.7	1.3	0.013	540	32400
04/26/15 08:45:00 PM	-19	1	0.01	555	33300
04/26/15 09:00:00 PM	-18.7	1.3	0.013	570	34200
04/26/15 09:15:00 PM	-18.9	1.1	0.011	585	35100
04/26/15 09:30:00 PM	-19.1	0.9	0.009	600	36000

04/26/15 09:45:00 PM	-19.2	0.8	0.008	615	36900
04/26/15 10:00:00 PM	-18.9	1.1	0.011	630	37800
04/26/15 10:15:00 PM	-19.1	0.9	0.009	645	38700
04/26/15 10:30:00 PM	-19	1	0.01	660	39600
04/26/15 10:45:00 PM	-19	1	0.01	675	40500
04/26/15 11:00:00 PM	-19.2	0.8	0.008	690	41400
04/26/15 11:15:00 PM	-19.2	0.8	0.008	705	42300
04/26/15 11:30:00 PM	-19	1	0.01	720	43200
04/26/15 11:45:00 PM	-19	1	0.01	735	44100
04/27/15 12:00:00 AM	-19	1	0.01	750	45000
04/27/15 12:15:00 AM	-19.1	0.9	0.009	765	45900
04/27/15 12:30:00 AM	-19	1	0.01	780	46800
04/27/15 12:45:00 AM	-19	1	0.01	795	47700
04/27/15 01:00:00 AM	-19.3	0.7	0.007	810	48600
04/27/15 01:15:00 AM	-19.3	0.7	0.007	825	49500
04/27/15 01:30:00 AM	-19.2	0.8	0.008	840	50400
04/27/15 01:45:00 AM	-19.4	0.6	0.006	855	51300
04/27/15 02:00:00 AM	-19.2	0.8	0.008	870	52200
04/27/15 02:15:00 AM	-19.3	0.7	0.007	885	53100
04/27/15 02:30:00 AM	-19.4	0.6	0.006	900	54000
04/27/15 02:45:00 AM	-19.3	0.7	0.007	915	54900
04/27/15 03:00:00 AM	-19.3	0.7	0.007	930	55800
04/27/15 03:15:00 AM	-19.4	0.6	0.006	945	56700
04/27/15 03:30:00 AM	-19.2	0.8	0.008	960	57600
04/27/15 03:45:00 AM	-19.2	0.8	0.008	975	58500
04/27/15 04:00:00 AM	-19.3	0.7	0.007	990	59400
04/27/15 04:15:00 AM	-19.6	0.4	0.004	1005	60300
04/27/15 04:30:00 AM	-19.2	0.8	0.008	1020	61200
04/27/15 04:45:00 AM	-19.5	0.5	0.005	1035	62100
04/27/15 05:00:00 AM	-19.4	0.6	0.006	1050	63000
04/27/15 05:15:00 AM	-19.3	0.7	0.007	1065	63900
04/27/15 05:30:00 AM	-19.5	0.5	0.005	1080	64800
04/27/15 05:45:00 AM	-19.5	0.5	0.005	1095	65700
04/27/15 06:00:00 AM	-19.4	0.6	0.006	1110	66600
04/27/15 06:15:00 AM	-19.7	0.3	0.003	1125	67500
04/27/15 06:30:00 AM	-19.7	0.3	0.003	1140	68400
04/27/15 06:45:00 AM	-19.6	0.4	0.004	1155	69300
04/27/15 07:00:00 AM	-19.7	0.3	0.003	1170	70200
04/27/15 07:15:00 AM	-19.8	0.2	0.002	1185	71100
04/27/15 07:30:00 AM	-20	0	0	1200	72000

Lampiran 4 Pengukuran Y_t saat *slug out* pada sumur 2

Tanggal – Waktu (<i>Slug Out</i>)	Tinggi Muka Air (cm)	Y_t (cm)	Y_t (meter)	Waktu (menit)	Waktu (detik)
04/27/15 07:45:00 AM	-32.3	18.4	0.184	0	0
04/27/15 08:00:00 AM	-29.4	15.5	0.155	15	900
04/27/15 08:15:00 AM	-27	13.1	0.131	30	1800
04/27/15 08:30:00 AM	-25.7	11.8	0.118	45	2700
04/27/15 08:45:00 AM	-24.2	10.3	0.103	60	3600
04/27/15 09:00:00 AM	-23.2	9.3	0.093	75	4500
04/27/15 09:15:00 AM	-23.4	9.5	0.095	90	5400
04/27/15 09:30:00 AM	-22.5	8.6	0.086	105	6300
04/27/15 09:45:00 AM	-21.8	7.9	0.079	120	7200
04/27/15 10:00:00 AM	-21.4	7.5	0.075	135	8100
04/27/15 10:15:00 AM	-20.9	7	0.07	150	9000
04/27/15 10:30:00 AM	-20.1	6.2	0.062	165	9900
04/27/15 10:45:00 AM	-20	6.1	0.061	180	10800
04/27/15 11:00:00 AM	-19.4	5.5	0.055	195	11700
04/27/15 11:15:00 AM	-19.1	5.2	0.052	210	12600
04/27/15 11:30:00 AM	-18.7	4.8	0.048	225	13500
04/27/15 11:45:00 AM	-18.6	4.7	0.047	240	14400
04/27/15 12:00:00 PM	-18.3	4.4	0.044	255	15300
04/27/15 12:15:00 PM	-18	4.1	0.041	270	16200
04/27/15 12:30:00 PM	-17.9	4	0.04	285	17100
04/27/15 12:45:00 PM	-17.1	3.2	0.032	300	18000
04/27/15 01:00:00 PM	-16.2	2.3	0.023	315	18900
04/27/15 01:15:00 PM	-15.8	1.9	0.019	330	19800
04/27/15 01:30:00 PM	-15.1	1.2	0.012	345	20700
04/27/15 01:45:00 PM	-14.8	0.9	0.009	360	21600
04/27/15 02:00:00 PM	-14.5	0.6	0.006	375	22500
04/27/15 02:15:00 PM	-14.1	0.2	0.002	390	23400
04/27/15 02:30:00 PM	-13.9	0	0	405	24300

Lampiran 5 Pengukuran Y_t saat *slug in* pada sumur 3

Tanggal – Waktu (<i>Slug In</i>)	Tinggi Muka Air (cm)	Y_t (cm)	Y_t (meter)	Waktu (menit)	Waktu (detik)
04/25/15 10:15:00 AM	23.1	8.2	0.082	0	0
04/25/15 10:30:00 AM	16.7	1.8	0.018	15	900
04/25/15 10:45:00 AM	15.8	0.9	0.009	30	1800
04/25/15 11:00:00 AM	14.9	0	0	45	2700
04/25/15 11:15:00 AM	15	0.1	0.001	60	3600
04/25/15 11:30:00 AM	14.9	0	0	75	4500
04/25/15 11:45:00 AM	14.9	0	0	90	5400

Lampiran 6 Pengukuran Y_t saat *slug out* pada sumur 3

Tanggal – Waktu (<i>Slug Out</i>)	Tinggi Muka Air (cm)	Y_t (cm)	Y_t (meter)	Waktu (menit)	Waktu (detik)
04/25/15 12:00:00 PM	-2.7	20.1	0.201	0	0
04/25/15 12:15:00 PM	0.8	16.6	0.166	15	900
04/25/15 12:30:00 PM	3.9	13.5	0.135	30	1800
04/25/15 12:45:00 PM	6.2	11.2	0.112	45	2700
04/25/15 01:00:00 PM	7.4	10	0.1	60	3600
04/25/15 01:15:00 PM	9	8.4	0.084	75	4500
04/25/15 01:30:00 PM	9.5	7.9	0.079	90	5400
04/25/15 01:45:00 PM	10.8	6.6	0.066	105	6300
04/25/15 02:00:00 PM	11.5	5.9	0.059	120	7200
04/25/15 02:15:00 PM	11.9	5.5	0.055	135	8100
04/25/15 02:30:00 PM	12.4	5	0.05	150	9000
04/25/15 02:45:00 PM	12.8	4.6	0.046	165	9900
04/25/15 03:00:00 PM	13.3	4.1	0.041	180	10800
04/25/15 03:15:00 PM	13.4	4	0.04	195	11700
04/25/15 03:30:00 PM	16.8	0.6	0.006	210	12600
04/25/15 03:45:00 PM	16.8	0.6	0.006	225	13500
04/25/15 04:00:00 PM	16.7	0.7	0.007	240	14400
04/25/15 04:15:00 PM	16.9	0.5	0.005	255	15300
04/25/15 04:30:00 PM	17	0.4	0.004	270	16200
04/25/15 04:45:00 PM	17.2	0.2	0.002	285	17100
04/25/15 05:00:00 PM	17.1	0.3	0.003	300	18000
04/25/15 05:15:00 PM	17	0.4	0.004	315	18900
04/25/15 05:30:00 PM	17	0.4	0.004	330	19800
04/25/15 05:45:00 PM	17.2	0.2	0.002	345	20700
04/25/15 06:00:00 PM	17.1	0.3	0.003	360	21600
04/25/15 06:15:00 PM	17.2	0.2	0.002	375	22500
04/25/15 06:30:00 PM	17.1	0.3	0.003	390	23400
04/25/15 06:45:00 PM	17.4	0	0	405	24300
04/25/15 07:00:00 PM	17.4	0	0	420	25200
04/25/15 07:15:00 PM	17.4	0	0	435	26100

Lampiran 7 Pengukuran Y_t saat *slug in* pada sumur 4

Tanggal – Waktu (<i>Slug In</i>)	Tinggi Muka Air (cm)	Y_t (cm)	Y_t (meter)	Waktu (menit)	Waktu (detik)
04/26/15 12:00:00 PM	21.6	8.9	0.089	0	0
04/26/15 12:15:00 PM	16	3.3	0.033	15	900
04/26/15 12:30:00 PM	15.2	2.5	0.025	30	1800
04/26/15 12:45:00 PM	14.8	2.1	0.021	45	2700
04/26/15 01:00:00 PM	14.9	2.2	0.022	60	3600
04/26/15 01:15:00 PM	14.9	2.2	0.022	75	4500
04/26/15 01:30:00 PM	14.8	2.1	0.021	90	5400
04/26/15 01:45:00 PM	14.7	2	0.02	105	6300
04/26/15 02:00:00 PM	14.7	2	0.02	120	7200
04/26/15 02:15:00 PM	14.6	1.9	0.019	135	8100
04/26/15 02:30:00 PM	14.6	1.9	0.019	150	9000
04/26/15 02:45:00 PM	14.4	1.7	0.017	165	9900
04/26/15 03:00:00 PM	14.2	1.5	0.015	180	10800
04/26/15 03:15:00 PM	14.2	1.5	0.015	195	11700
04/26/15 03:30:00 PM	14	1.3	0.013	210	12600
04/26/15 03:45:00 PM	14.2	1.5	0.015	225	13500
04/26/15 04:00:00 PM	13.9	1.2	0.012	240	14400
04/26/15 04:15:00 PM	14.1	1.4	0.014	255	15300
04/26/15 04:30:00 PM	14	1.3	0.013	270	16200
04/26/15 04:45:00 PM	13.8	1.1	0.011	285	17100
04/26/15 05:00:00 PM	14.1	1.4	0.014	300	18000
04/26/15 05:15:00 PM	14	1.3	0.013	315	18900
04/26/15 05:30:00 PM	14	1.3	0.013	330	19800
04/26/15 05:45:00 PM	13.9	1.2	0.012	345	20700
04/26/15 06:00:00 PM	13.9	1.2	0.012	360	21600
04/26/15 06:15:00 PM	13.7	1	0.01	375	22500
04/26/15 06:30:00 PM	13.7	1	0.01	390	23400
04/26/15 06:45:00 PM	13.7	1	0.01	405	24300
04/26/15 07:00:00 PM	13.8	1.1	0.011	420	25200
04/26/15 07:15:00 PM	13.8	1.1	0.011	435	26100
04/26/15 07:30:00 PM	13.8	1.1	0.011	450	27000
04/26/15 07:45:00 PM	13.7	1	0.01	465	27900
04/26/15 08:00:00 PM	13.7	1	0.01	480	28800
04/26/15 08:15:00 PM	13.6	0.9	0.009	495	29700
04/26/15 08:30:00 PM	13.7	1	0.01	510	30600
04/26/15 08:45:00 PM	13.5	0.8	0.008	525	31500
04/26/15 09:00:00 PM	13.7	1	0.01	540	32400
04/26/15 09:15:00 PM	13.4	0.7	0.007	555	33300
04/26/15 09:30:00 PM	13.5	0.8	0.008	570	34200
04/26/15 09:45:00 PM	13.5	0.8	0.008	585	35100
04/26/15 10:00:00 PM	13.4	0.7	0.007	600	36000

04/26/15 10:15:00 PM	13.3	0.6	0.006	615	36900
04/26/15 10:30:00 PM	13.6	0.9	0.009	630	37800
04/26/15 10:45:00 PM	13.6	0.9	0.009	645	38700
04/26/15 11:00:00 PM	13.5	0.8	0.008	660	39600
04/26/15 11:15:00 PM	13.4	0.7	0.007	675	40500
04/26/15 11:30:00 PM	13.5	0.8	0.008	690	41400
04/26/15 11:45:00 PM	13.3	0.6	0.006	705	42300
04/27/15 12:00:00 AM	13.5	0.8	0.008	720	43200
04/27/15 12:15:00 AM	13.4	0.7	0.007	735	44100
04/27/15 12:30:00 AM	13.4	0.7	0.007	750	45000
04/27/15 12:45:00 AM	13.3	0.6	0.006	765	45900
04/27/15 01:00:00 AM	13.3	0.6	0.006	780	46800
04/27/15 01:15:00 AM	13.1	0.4	0.004	795	47700
04/27/15 01:30:00 AM	13.2	0.5	0.005	810	48600
04/27/15 01:45:00 AM	13.2	0.5	0.005	825	49500
04/27/15 02:00:00 AM	13	0.3	0.003	840	50400
04/27/15 02:15:00 AM	13.3	0.6	0.006	855	51300
04/27/15 02:30:00 AM	13	0.3	0.003	870	52200
04/27/15 02:45:00 AM	13.2	0.5	0.005	885	53100
04/27/15 03:00:00 AM	13.1	0.4	0.004	900	54000
04/27/15 03:15:00 AM	13.1	0.4	0.004	915	54900
04/27/15 03:30:00 AM	13.3	0.6	0.006	930	55800
04/27/15 03:45:00 AM	13.2	0.5	0.005	945	56700
04/27/15 04:00:00 AM	13.1	0.4	0.004	960	57600
04/27/15 04:15:00 AM	12.8	0.1	0.001	975	58500
04/27/15 04:30:00 AM	13.2	0.5	0.005	990	59400
04/27/15 04:45:00 AM	12.9	0.2	0.002	1005	60300
04/27/15 05:00:00 AM	13.3	0.6	0.006	1020	61200
04/27/15 05:15:00 AM	13.1	0.4	0.004	1035	62100
04/27/15 05:30:00 AM	13.1	0.4	0.004	1050	63000
04/27/15 05:45:00 AM	13.1	0.4	0.004	1065	63900
04/27/15 06:00:00 AM	13.1	0.4	0.004	1080	64800
04/27/15 06:15:00 AM	13	0.3	0.003	1095	65700
04/27/15 06:30:00 AM	12.8	0.1	0.001	1110	66600
04/27/15 06:45:00 AM	13.1	0.4	0.004	1125	67500
04/27/15 07:00:00 AM	12.8	0.1	0.001	1140	68400
04/27/15 07:15:00 AM	12.9	0.2	0.002	1155	69300
04/27/15 07:30:00 AM	12.8	0.1	0.001	1170	70200
04/27/15 07:45:00 AM	12.7	0	0	1185	71100

Lampiran 8 Pengukuran Y_t saat *slug out* pada sumur 4

Tanggal – Waktu (<i>Slug Out</i>)	Tinggi Muka Air (cm)	Y_t (cm)	Y_t (meter)	Waktu (menit)	Waktu (detik)
04/27/15 08:15:00 AM	-2.6	13.7	0.137	0	0
04/27/15 08:30:00 AM	-0.7	11.8	0.118	15	900
04/27/15 08:45:00 AM	1.4	9.7	0.097	30	1800
04/27/15 09:00:00 AM	3	8.1	0.081	45	2700
04/27/15 09:15:00 AM	4	7.1	0.071	60	3600
04/27/15 09:30:00 AM	4.9	6.2	0.062	75	4500
04/27/15 09:45:00 AM	5.8	5.3	0.053	90	5400
04/27/15 10:00:00 AM	6.3	4.8	0.048	105	6300
04/27/15 10:15:00 AM	6.8	4.3	0.043	120	7200
04/27/15 10:30:00 AM	7.4	3.7	0.037	135	8100
04/27/15 10:45:00 AM	7.7	3.4	0.034	150	9000
04/27/15 11:00:00 AM	8.5	2.6	0.026	165	9900
04/27/15 11:15:00 AM	8.6	2.5	0.025	180	10800
04/27/15 11:30:00 AM	8.8	2.3	0.023	195	11700
04/27/15 11:45:00 AM	8.7	2.4	0.024	210	12600
04/27/15 12:00:00 PM	9	2.1	0.021	225	13500
04/27/15 12:15:00 PM	9.4	1.7	0.017	240	14400
04/27/15 12:30:00 PM	9.6	1.5	0.015	255	15300
04/27/15 12:45:00 PM	9.9	1.2	0.012	270	16200
04/27/15 01:00:00 PM	10.3	0.8	0.008	285	17100
04/27/15 01:15:00 PM	10.5	0.6	0.006	300	18000
04/27/15 01:30:00 PM	10.7	0.4	0.004	315	18900
04/27/15 01:45:00 PM	10.6	0.5	0.005	330	19800
04/27/15 02:00:00 PM	10.8	0.3	0.003	345	20700
04/27/15 02:15:00 PM	10.7	0.4	0.004	360	21600
04/27/15 02:30:00 PM	11.1	0	0	375	22500
04/27/15 02:45:00 PM	11.1	0	0	390	23400
04/27/15 03:00:00 PM	11.1	0	0	405	24300

Lampiran 9 Pengukuran Y_t saat *slug in* pada sumur 5

Tanggal – Waktu (<i>Slug In</i>)	Tinggi Muka Air (cm)	Y_t (cm)	Y_t (meter)	Waktu (menit)	Waktu (detik)
04/29/15 10:00:00 AM	13.3	7.9	0.079	0	0
04/29/15 10:15:00 AM	9.3	3.9	0.039	15	900
04/29/15 10:30:00 AM	7.2	1.8	0.018	30	1800
04/29/15 10:45:00 AM	6.5	1.1	0.011	45	2700
04/29/15 11:00:00 AM	6.1	0.7	0.007	60	3600
04/29/15 11:15:00 AM	5.8	0.4	0.004	75	4500
04/29/15 11:30:00 AM	6	0.6	0.006	90	5400
04/29/15 11:45:00 AM	5.9	0.5	0.005	105	6300
04/29/15 12:00:00 PM	5.8	0.4	0.004	120	7200
04/29/15 12:15:00 PM	5.8	0.4	0.004	135	8100
04/29/15 12:30:00 PM	5.8	0.4	0.004	150	9000
04/29/15 12:45:00 PM	5.7	0.3	0.003	165	9900
04/29/15 01:00:00 PM	5.7	0.3	0.003	180	10800
04/29/15 01:15:00 PM	5.7	0.3	0.003	195	11700
04/29/15 01:30:00 PM	5.7	0.3	0.003	210	12600
04/29/15 01:45:00 PM	5.8	0.4	0.004	225	13500
04/29/15 02:00:00 PM	5.4	0	0	240	14400
04/29/15 02:15:00 PM	5.7	0.3	0.003	255	15300
04/29/15 02:30:00 PM	5.6	0.2	0.002	270	16200
04/29/15 02:45:00 PM	5.5	0.1	0.001	285	17100
04/29/15 03:00:00 PM	5.4	0	0	300	18000

Lampiran 10 Pengukuran Y_t saat *slug out* pada sumur 5

Tanggal – Waktu (<i>Slug Out</i>)	Tinggi Muka Air (cm)	Y_t (cm)	Y_t (meter)	Waktu (menit)	Waktu (detik)
04/30/15 09:00:00 AM	-3.1	15.3	0.153	0	0
04/30/15 09:15:00 AM	0.9	11.3	0.113	15	900
04/30/15 09:30:00 AM	3.8	8.4	0.084	30	1800
04/30/15 09:45:00 AM	5.8	6.4	0.064	45	2700
04/30/15 10:00:00 AM	7.6	4.6	0.046	60	3600
04/30/15 10:15:00 AM	8.5	3.7	0.037	75	4500
04/30/15 10:30:00 AM	9.2	3	0.03	90	5400
04/30/15 10:45:00 AM	9.8	2.4	0.024	105	6300
04/30/15 11:00:00 AM	10.3	1.9	0.019	120	7200
04/30/15 11:15:00 AM	10.5	1.7	0.017	135	8100
04/30/15 11:30:00 AM	11	1.2	0.012	150	9000
04/30/15 11:45:00 AM	11.1	1.1	0.011	165	9900
04/30/15 12:00:00 PM	11.4	0.8	0.008	180	10800
04/30/15 12:15:00 PM	11.7	0.5	0.005	195	11700
04/30/15 12:30:00 PM	11.7	0.5	0.005	210	12600
04/30/15 12:45:00 PM	11.5	0.7	0.007	225	13500
04/30/15 01:00:00 PM	11.9	0.3	0.003	240	14400
04/30/15 01:15:00 PM	11.7	0.5	0.005	255	15300
04/30/15 01:30:00 PM	11.9	0.3	0.003	270	16200
04/30/15 01:45:00 PM	12.2	0	0	285	17100
04/30/15 02:00:00 PM	12	0.2	0.002	300	18000
04/30/15 02:15:00 PM	11.8	0.4	0.004	315	18900
04/30/15 02:30:00 PM	12.2	0	0	330	19800
04/30/15 02:45:00 PM	12.2	0	0	345	20700
04/30/15 03:00:00 PM	12.2	0	0	360	21600
04/30/15 03:15:00 PM	12.2	0	0	375	22500

RIWAYAT HIDUP

Penulis dilahirkan di Jakarta pada tanggal 3 Juni 1993 dari pasangan Bapak Purwanto dan Ibu Gemi Rahayu. Penulis merupakan anak bungsu dari dua bersaudara. Penulis memulai pendidikan formalnya tahun 1998-1999 di TK Dian Kartika, kemudian melanjutkan studi di SDN Kartika Sejahtera tahun 1999-2005. Tahun 2005-2008, penulis memperoleh pendidikan di SMPN 1 Bojonggede dan tahun 2008-2011 di SMAN 1 Parung. Tahun 2011 penulis masuk Institut Pertanian Bogor (IPB) melalui jalur SNMPTN Undangan IPB dan diterima di Departemen Geofisika dan Meteorologi, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam.

Selama mengikuti perkuliahan penulis aktif menjadi staf Departemen Informasi, Komunikasi dan Jurnalistik BEM TPB IPB masa jabatan 2011-2012 dan staf Departemen Komunikasi dan Informasi BEM FMIPA IPB masa jabatan 2012-2013. Penulis juga aktif mengikuti berbagai kepanitiaan yang ada di IPB. Penulis juga menjadi asisten praktikum pada mata kuliah Hidrometeorologi.