



PENGUKURAN DAMPAK AKTIVITAS PEMBASAHAN KEMBALI LAHAN GAMBUT MENGGUNAKAN PEMODELAN HIDROLOGI

DEDE SULAEMAN, IHSAN HAFIYYAN DAN HIDAYAH HAMZAH

RINGKASAN EKSEKUTIF

Gambut adalah ekosistem lahan basah penting yang menyimpan potensi cadangan karbon tinggi. Namun, sebagian besar lahan gambut telah dikeringkan untuk dikonversi menjadi perkebunan dan lahan pertanian. Di Indonesia, kebakaran hutan dan lahan pada tahun 2015 menjadi salah satu bencana terparah dalam beberapa dekade terakhir. Setidaknya 2,6 juta hektare hutan dan lahan terbakar, termasuk lebih dari 600 ribu hektare lahan gambut (BRG, 2019). Sebagai respons terhadap kebakaran hebat tersebut, Pemerintah Indonesia membangun ribuan infrastruktur pembasahan gambut berupa sekat kanal dan kanal timbun di wilayah gambut yang rawan terbakar untuk mengatur kelembapan gambut dan mencegah kebakaran yang lebih parah. Namun, belum ada metode yang jelas dan dapat dipertanggungjawabkan secara ilmiah serta tersedia secara publik untuk mengukur seberapa luas dampak infrastruktur pembasahan gambut tersebut.

Catatan teknis ini bertujuan menjelaskan analisis dampak restorasi gambut yang tersedia di Pranata Informasi Eksosistem Gambut (PRIMS Gambut) (<https://prims.brg.go.id/>), sebuah pranata daring berbasis sistem informasi geografis (SIG). Pranata tersebut menyajikan kondisi dan kemajuan restorasi lahan gambut di Indonesia dalam mencapai target restorasi. Dokumen ini menjelaskan indikator dan metode pengukuran dampak sekat kanal dan kanal timbun terhadap proses hidrologi gambut menggunakan pemodelan hidrologi berbasis ilmiah. Selanjutnya, metode ini dapat menentukan areal gambut yang telah dilakukan pembasahan kembali (*rewetting*). Dokumen ini diharapkan dapat bermanfaat dan diadopsi oleh pemerintah nasional, dalam hal ini BRG, pemerintah daerah, akademisi, sektor swasta dan masyarakat secara umum untuk mengetahui dampak pembasahan gambut yang telah dilakukan.

DAFTAR ISI

Ringkasan Eksekutif	1
1. Pendahuluan	2
2. Model Hidrologi	2
3. Penyusunan Model	6
4. Kalibrasi Model	21
5. Implementasi Model	25
6. Hasil Pemodelan Dampak Restorasi Gambut	27
7. Limitasi Model	30
Referensi	31
Lampiran	33
Ucapan Terima Kasih	40

Kertas Kerja berisi hasil sementara dari penelitian, analisis, temuan dan rekomendasi yang disirkulasikan untuk memantik diskusi dan umpan balik, serta untuk memengaruhi perdebatan terkait isu yang tengah sering dibicarakan. Kertas Kerja dapat dipublikasikan dalam bentuk lain dengan isi yang dapat berubah.

Kutipan yang Disarankan: Sulaeman, D., Hafiyyan, I. dan Hamzah, H. 2022. "Pengukuran Dampak Aktivitas Pembasahan Kembali Lahan Gambut Menggunakan Pemodelan Hidrologi." Catatan Teknis. WRI Indonesia. Jakarta. Tersedia daring pada: <https://doi.org/10.46830/writn.20.00088>.

1. PENDAHULUAN

Peran Penting Lahan Gambut dalam Keseimbangan Iklim Global

Pada kondisi alami, gambut adalah ekosistem yang selalu tergenang air dengan lebih dari 30 persen kandungan bahan organik dari serasah daun dan ranting yang terakumulasi selama ribuan tahun (Agus et al., 2011). Walaupun luas lahan gambut hanya 3-5 persen dari keseluruhan permukaan bumi, ekosistem penting ini menyimpan lebih dari 30 persen cadangan karbon dunia. Lahan gambut juga menyimpan karbon dua kali lebih banyak daripada hutan di seluruh dunia sehingga berperan penting untuk mitigasi dan adaptasi perubahan iklim (CIFOR, 2018). Ekosistem lahan gambut sangat penting dalam sistem hidrologi suatu kawasan karena mampu menyerap air sampai 13 kali lipat dari bobotnya (Agus dan Subiksa, 2008).

Indonesia memiliki lahan gambut tropis terluas di dunia, sekitar 13,43 juta hektare (BBSDL, 2019). Namun, sebagian besar lahan gambut Indonesia telah dikeringkan dan dikonversi untuk lahan pertanian, perkebunan sawit dan tanaman serat kayu. Dalam kurun waktu 1990 hingga 2010, tutupan lahan gambut di Kalimantan, Semenanjung Malaysia dan Sumatera telah hilang lebih dari separuh, dari 77 persen menjadi 36 persen. (Miettinen et al., 2011). Kondisi kering di Indonesia akibat El Niño tahun 2015 menjadikan musim kebakaran di tahun itu sebagai yang terburuk dalam 20 tahun terakhir. Sekitar 2,6 juta hektare lahan terbakar antara bulan Juni hingga Oktober, yang merupakan musim kemarau di Indonesia (Glauber et al., 2016). Kebakaran itu memusnahkan 869.754 hektare gambut secara nasional (Nugroho, 2016; BRG, 2018, dan Elvince et al., 2021), dan berdampak luas terhadap lingkungan, kesehatan, ekonomi dan pendidikan.

Restorasi Gambut untuk Pencegahan Kebakaran

Pendekatan restorasi yang umum dilakukan berupa kegiatan pembasahan kembali (*rewetting*), dengan membangun infrastruktur pembasahan gambut (IPG) untuk menjaga tinggi muka air di lahan gambut. Kegiatan pembasahan kembali merupakan pendekatan yang dilakukan oleh Badan Restorasi Gambut (BRG) yang dibentuk secara langsung oleh presiden untuk mengoordinasikan kegiatan restorasi gambut di tujuh provinsi prioritas. Dalam perkembangannya, BRG berubah menjadi Badan Restorasi Gambut dan Mangrove.

WRI Indonesia mendukung BRG untuk mencapai target restorasi dan mengurangi emisi karbon melalui pengembangan PRIMs Gambut, suatu sistem

pemantauan gambut dan pelaporan restorasi yang transparan dan efektif. Salah satu kemampuan PRIMs Gambut adalah memantau kemajuan pelaksanaan restorasi. Namun, masih terdapat kesenjangan dalam mengidentifikasi bagaimana dampak restorasi terhadap proses hidrologi di lahan gambut dan seberapa luas lahan gambut yang terdampak.

Catatan teknis ini merupakan turunan dari kajian pemodelan hidrologi yang dilakukan oleh WRI Indonesia, yang bertujuan untuk mengidentifikasi metode yang tepat dan dapat dipertanggungjawabkan secara ilmiah, terkait luas lahan gambut yang terdampak pembangunan infrastruktur pembasahan gambut. Lokasi kajian berada di tiga Kesatuan Hidrologis Gambut (KHG), yaitu KHG Burnai – Sibumbang, Sumatera Selatan, KHG Kahayan – Sebangau, Kalimantan Tengah dan KHG Kapuas – Barito, Kalimantan Tengah. Catatan teknis ini diharapkan dapat menjadi rujukan bagi pemerintah nasional, khususnya BRG, pemerintah daerah, akademisi, sektor swasta serta masyarakat secara umum dalam menguji efektivitas infrastruktur pembasahan gambut (IPG) yang dibangun.

2. MODEL HIDROLOGI

Model pada dasarnya merupakan gambaran atau representasi sederhana dari sistem sesungguhnya. Pemodelan hidrologi di lahan gambut merupakan penyederhanaan dari sistem hidrologi yang terjadi pada kondisi alami. Tujuan utama dari pemodelan ini adalah untuk menerangkan gejala hidrologi dalam menduga status hubungan antara parameter yang memengaruhi siklus air yang terjadi di lahan gambut. Proses-proses hidrologi yang direpresentasikan oleh parameter-parameter tertentu dapat dinyatakan secara konseptual dengan model-model matematis.

Sistem pemodelan deterministik dan berbasis fisik atau MIKE SHE yang digunakan dalam kajian ini juga merupakan model terdistribusi karena dapat menangani distribusi parameter spasial dan temporal. Selain itu, untuk merepresentasikan infrastruktur pembasahan gambut, yaitu sekat kanal dan kanal timbun, digunakan pula sistem pemodelan satu dimensi yang sepenuhnya dinamis atau MIKE Hydro River.

Dalam catatan teknis ini, pengaplikasian model hidrologi terfokus pada tiga lokasi KHG kajian: 1) KHG Burnai – Sibumbang; 2) KHG Kahayan – Sebangau dan 3) KHG Kapuas – Barito (Lampiran 1). Secara umum proses pengaplikasian model ini dapat dilihat pada diagram alir penentuan area terdampak aktivitas pembangunan infrastruktur pembasahan kembali di lahan gambut (Gambar 1).

Deskripsi Model

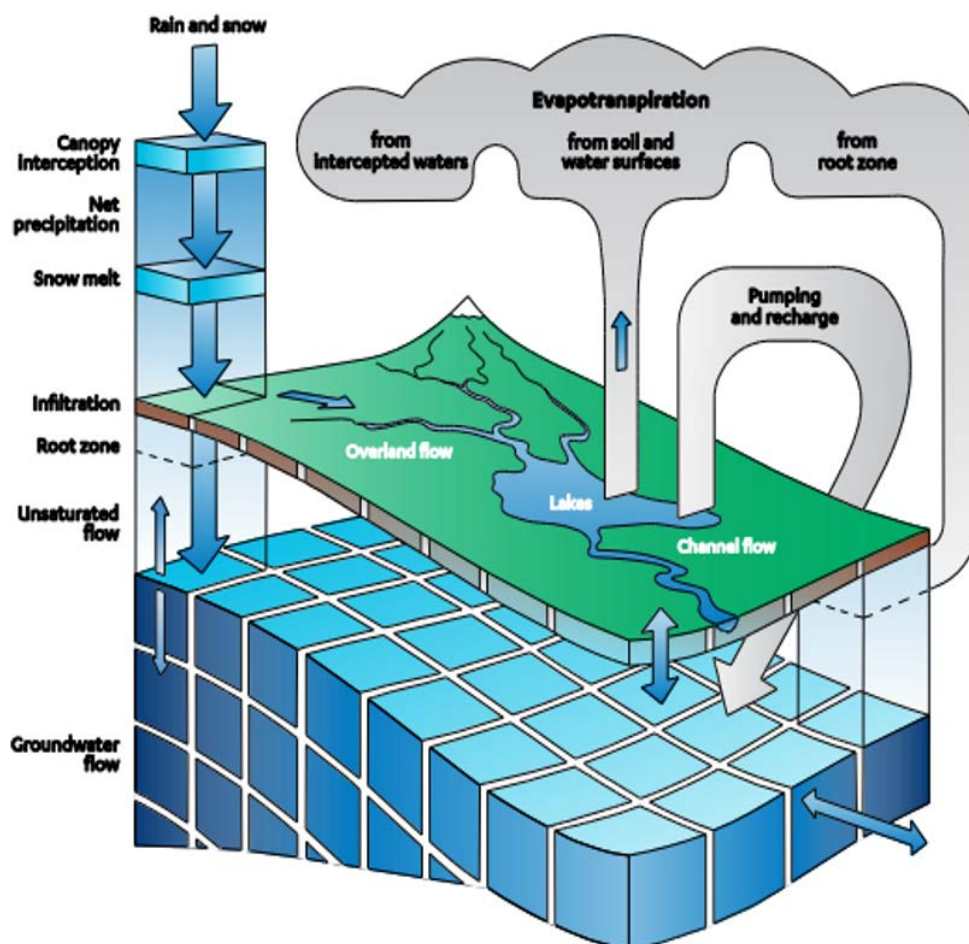
Model hidrologi digunakan untuk memvisualisasikan dampak restorasi dalam perspektif sistem hidrologi. Model hidrologi gambut memerlukan sistem pemodelan yang menggambarkan proses fisik dari siklus hidrologi yang berorientasi proses dan memiliki struktur modular yang terdiri atas komponen-komponen hidrologi.

Model MIKE SHE dapat mensimulasikan semua proses utama dalam siklus hidrologi yang mencakup intersepsi/evapotranspirasi, aliran permukaan, aliran tak jenuh, aliran jenuh, neraca air, pengisian kembali air ke dalam tanah, aliran pada saluran serta interaksi dari semua proses tersebut (Thompson et al., 2004). Ilustrasi model ini dapat dilihat pada Gambar 1.

Kelemahan model ini adalah komponen saluran tidak mendukung representasi struktur hidrolis seperti sekat kanal dan kanal timbun. Hal ini akan menjadi masalah, khususnya dalam pengaplikasian model untuk simulasi di lahan gambut, di mana struktur tersebut merupakan bagian dari kegiatan pembasahan kembali.

Limitasi dalam merepresentasikan infrastruktur pembasahan gambut dalam model tersebut dapat diatasi dengan menggabungkan (*coupling*) model MIKE SHE dengan model MIKE Hydro River. Dengan komputasi modul hidrodinamik, model MIKE Hydro River menawarkan berbagai modul tambahan dan dapat merepresentasikan struktur hidrolis (DHI, 2017), termasuk infrastruktur pembasahan gambut.

Gambar 1 | Skema Pemodelan Hidrologi MIKE SHE dan MIKE Hydro River

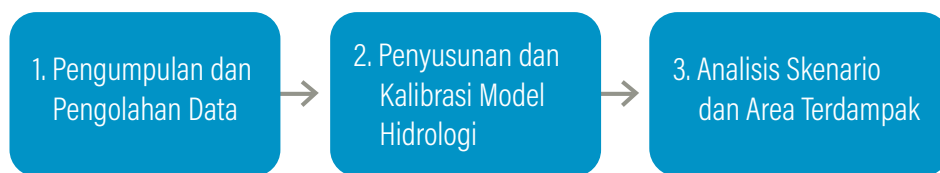


Sumber: Refsgaard dan Storm, 1995; DHI, 2017

Secara umum, model hidrologi gambut diperoleh melalui tahapan pengumpulan dan pengolahan data, penyusunan model dan kalibrasi model hidrologi menggunakan MIKE SHE dan MIKE Hydro River (lihat Gambar 2)

serta analisis skenario yang merepresentasikan proses hidrologi di lahan gambut dengan atau tanpa infrastruktur pembasahan.

Gambar 2 | Tahapan Pengembangan Model Hidrologi

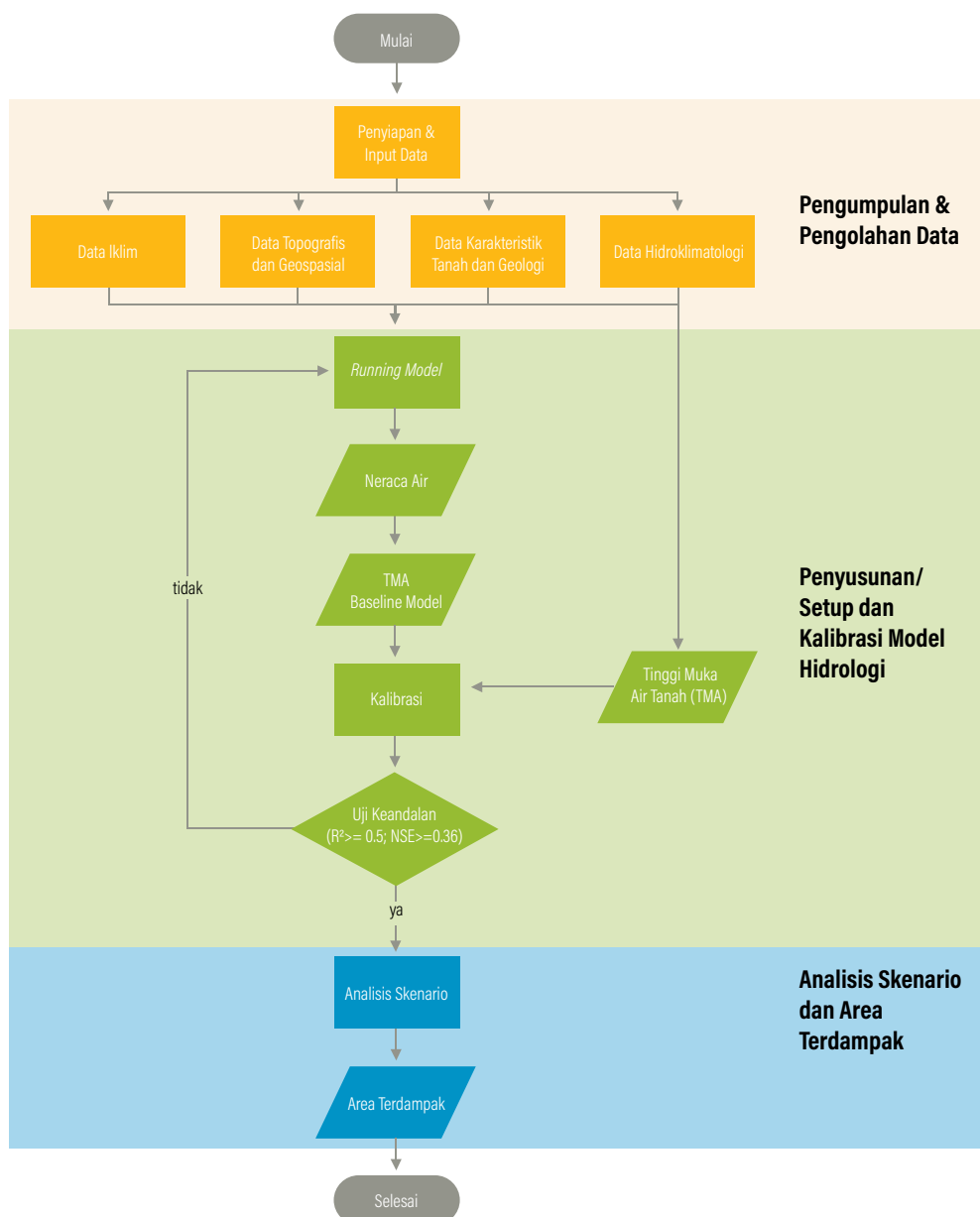


Sumber: Analisis Penulis

Lingkup model numerik perlu ditentukan untuk mendapatkan kondisi pembatas (*boundary conditions*). Selain itu, penentuan kondisi pembatas dapat membentuk ukuran model yang yang mensimulasikan proses-proses hidrologi secara numerik dengan detail yang diperlukan. Umumnya, kondisi pembatas pada model numerik dipilih untuk menyesuaikan batasan

alami hidrologi gambut dan menunjukkan wilayah yang dicakup oleh masing-masing KHG. Adapun diagram alir dari penentuan area terdampak aktivitas pembasahan kembali di lahan gambut, melalui pemodelan hidrologi MIKE SHE dan MIKE Hydro River, terlihat pada Gambar 3 di bawah ini:

Gambar 3 | Diagram alir penentuan area terdampak aktivitas pembasahan kembali di lahan gambut



Sumber: Analisis Penulis

Kebutuhan Data

Data yang dibutuhkan dalam pemodelan hidrologi pada kajian ini cukup kompleks, dengan data utama mencakup *Digital Elevation Model (DEM)*, curah hujan serta data klimatologi lainnya (temperatur, kelembapan udara, radiasi matahari dan kecepatan angin), peta tata guna lahan, jaringan kanal, peta sebaran gambut,

karakteristik gambut (konduktivitas hidrolik, koefisien simpanan [*storage coefficient*] dan koefisien hasil spesifik [*specific yield*]), lokasi dan informasi teknis infrastruktur pembasahan gambut serta tinggi muka air tanah gambut. Kebutuhan dan sumber data yang digunakan dalam kajian ini secara lengkap dapat dilihat pada Tabel 1.

Tabel 1 | Kebutuhan dan sumber data

No.	Data	Deskripsi Data	Sumber Data berdasarkan Kesatuan Hidrologis Gambut (KHG)			Tahun produksi/Periode pengamatan	Keterangan
			KHG Burnai - Sibumbang	KHG Kahayan - Sebangau	KHG Kapuas - Barito		
1	Topografi (DEM)	Kondisi permukaan dan elevasi gambut yang digambarkan oleh <i>Digital Elevation Model</i>	<i>The Advanced Land Observing Satellite</i> (ALOS) PALSAR	LiDAR	<i>The Advanced Land Observing Satellite</i> (ALOS) PALSAR	2019-2020	LiDAR Res.: 0,5 m x 0,5 m ALOS Res.: 12,5 m x 12,5 m
2	Curah Hujan	Tinggi hujan/presipitasi pada stasiun pengukur hujan untuk merepresentasikan kondisi hujan lokasi studi	Badan Meteorologi, Klimatologi dan Geofisika	Badan Meteorologi, Klimatologi dan Geofisika	Badan Meteorologi, Klimatologi dan Geofisika	2016-2019	-
3	Klimatologi	Kecepatan angin rata-rata, kelembapan relatif rata-rata, lama penyinaran matahari, dan suhu udara rata-rata pada stasiun pengukur untuk merepresentasikan kondisi klimatologi di lokasi studi	Badan Meteorologi, Klimatologi dan Geofisika	Badan Meteorologi, Klimatologi dan Geofisika	Badan Meteorologi, Klimatologi dan Geofisika	2018-2019	-
4	Tutupan Lahan	Tipe lahan yang menutupi permukaan lokasi studi yang dianalisis dengan interpretasi citra satelit	Kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan (2018)	Kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan (2018)/ Badan Restorasi Gambut (2017)	Kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan (2018)	BRG (2017) dan KLHK (2018)	-
5	Kanal	Lokasi dan geometri jaringan kanal yang tersebar dalam lokasi studi yang dianalisis dari citra satelit	Badan Restorasi Gambut dan Mangrove/Wetlands International Indonesia	Badan Restorasi Gambut dan Mangrove/Wetlands International Indonesia	Badan Restorasi Gambut dan Mangrove/Wetlands International Indonesia	2020	-
6	Sebaran Gambut	Distribusi spasial gambut pada lokasi studi hasil pengecekan lapangan dan analisis citra satelit	<i>Remote Sensing Solution</i>	Badan Restorasi Gambut dan Mangrove/Remote Sensing Solution	<i>Remote Sensing Solution</i>	2020	-
7	Karakteristik Gambut	Karakteristik gambut berupa konduktivitas hidrolik, koefisien simpanan dan koefisien simpanan spesifik hasil pengukuran lapangan	Badan Restorasi Gambut dan Mangrove/Wetlands International Indonesia	Badan Restorasi Gambut dan mangrove/Wetlands International Indonesia	Badan Restorasi Gambut dan Mangrove/Wetlands International Indonesia	2019-2020	-
8	Infrastruktur Pembasahan Gambut	Lokasi dan geometri IPG yang tersebar dalam lokasi studi	Badan Restorasi Gambut dan Mangrove	Badan Restorasi Gambut dan Mangrove	Badan Restorasi Gambut dan Mangrove	2019	-
9	Tinggi Muka Air Tanah	Perubahan tinggi muka air dari waktu ke waktu pada titik pantau dalam lokasi studi	SIPALAGA/Wetlands International Indonesia	SIPALAGA/Wetlands International Indonesia	SIPALAGA/Wetlands International Indonesia	2019-2020	-

Keterangan: SIPALAGA: Sistem Pemantauan Air Lahan Gambut BRG (<https://sipalaga.brg.go.id/>)

3. PENYUSUNAN MODEL

Penyusunan model dilakukan dengan mengolah data yang dibutuhkan sebagai masukan ke dalam format dan pengaturan sesuai dengan model hidrologi yang digunakan. Selain itu, ditetapkan juga nilai-nilai parameter yang selanjutnya akan digunakan dalam simulasi model.

3.1. Pengolahan Data Topografi

Topografi merupakan representasi dari permukaan bumi di mana elevasi merupakan faktor pembentuk utama. Topografi berperan penting dalam interaksi komponen hidrologis dan pola hidrologi pada lokasi yang dikaji (DHI, 2021). Umumnya, lahan gambut relatif datar sehingga dibutuhkan data elevasi yang baik (Hergoualc'h et al., 2018). Salah satu bentuk data elevasi adalah *Digital Elevation Model* (DEM). Studi ini menggunakan DEM berdasarkan dua sumber yaitu:

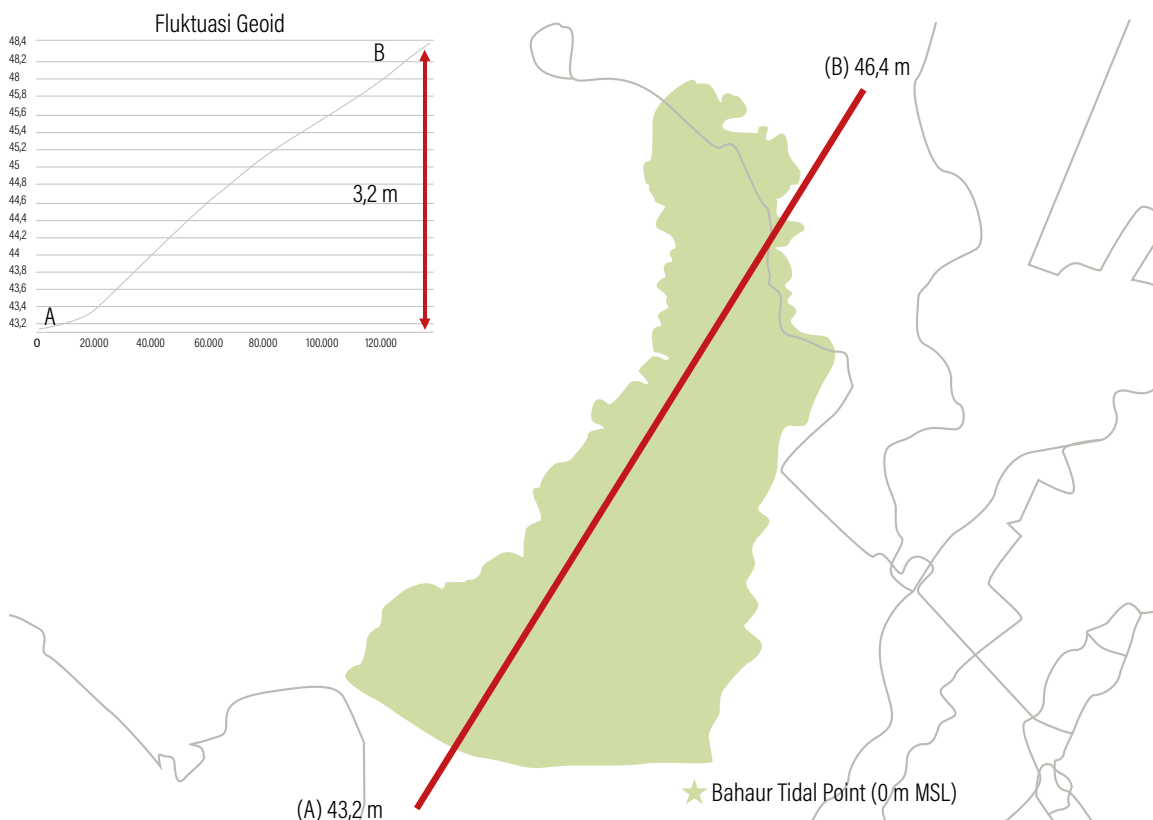
- LiDAR untuk KHG Kahayan-Sebangau
- ALOS PALSAR untuk KHG Burnai-Sibumbang dan KHG Kapuas-Barito.

Lahan gambut yang relatif datar membutuhkan data elevasi dengan resolusi tinggi agar dapat merepresentasikan kondisi seakurat mungkin. Resolusi DEM LiDAR yang digunakan dalam riset ini cukup detail, yaitu 0,5 meter x 0,5 meter. Sementara itu, resolusi spasial DEM yang diperoleh dari ALOS PALSAR adalah 12,5 meter x 12,5 meter. Perlu digarisbawahi bahwa datum vertikal perlu dipertimbangkan, mengingat data DEM juga dapat digunakan untuk memperoleh data lain yang belum tersedia atau tersedia sebagian, antara lain jaringan dan penampang melintang kanal dan sungai.

Salah satu keterbatasan data LiDAR adalah ketidakmampuannya untuk memperoleh elevasi dasar kanal yang tertutup oleh air. Data LiDAR juga membutuhkan biaya besar dan pengolahan lanjutan meliputi koreksi geoid dan geometri kanal atau sungai. Akurasi DEM akan lebih baik jika kedua pengolahan ini dilakukan sehingga elevasi kanal dapat menggambarkan kondisi alami seakurat mungkin.

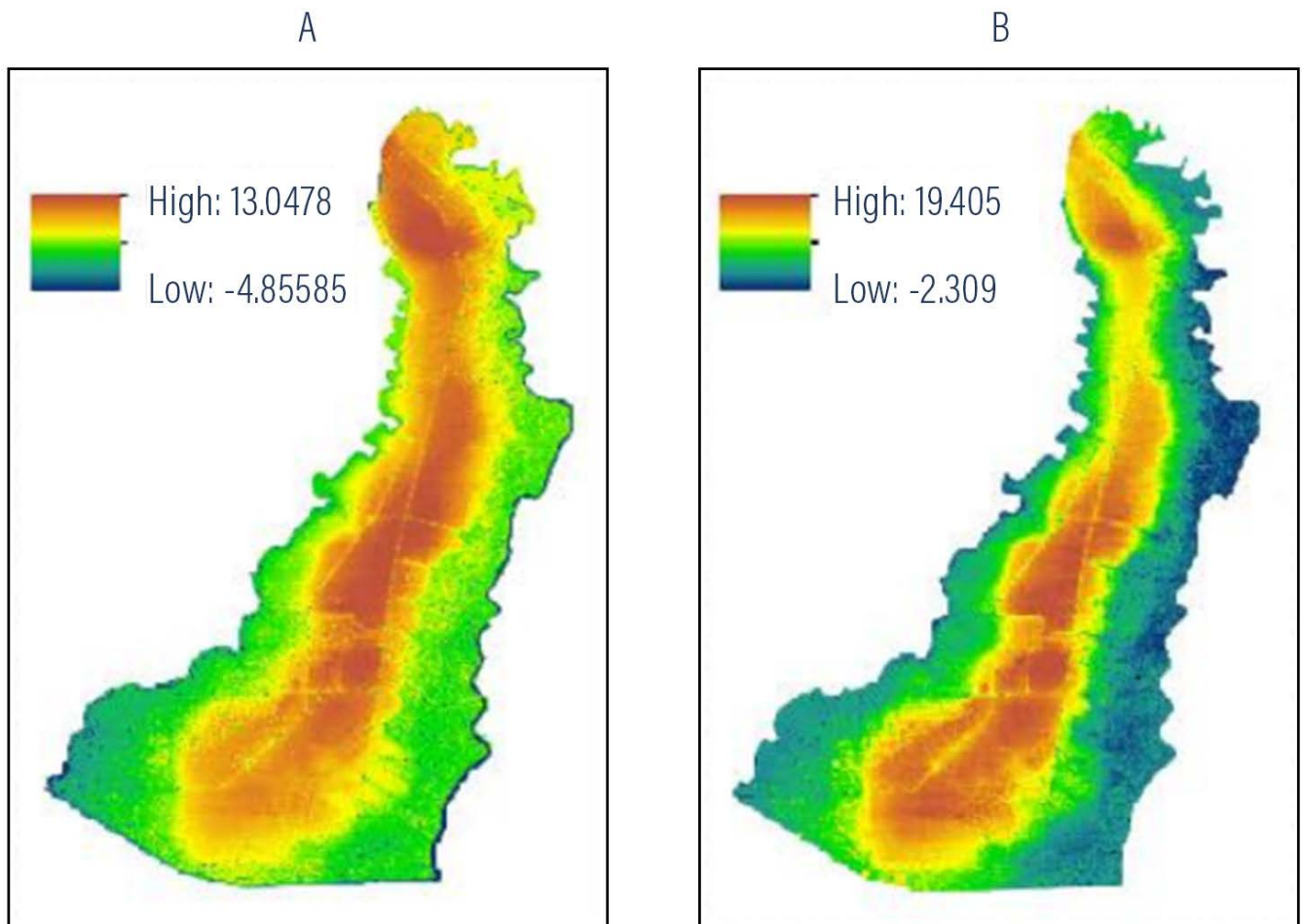
Penelitian *Remote Sensing Solutions* (RSS, 2020) menunjukkan bahwa fluktuasi geoid memperbesar nilai elevasi hingga 3,2 meter pada KHG Kahayan-Sebangau sebagaimana ditunjukkan pada Gambar 4-5. Apabila koreksi geoid tidak dilakukan, maka dapat mempengaruhi interaksi hidrologis.

Gambar 4 | Geoid Lokal pada KHG Kahayan - Sebangau



Sumber: Danish Hydrological Institute (DHI), 2021

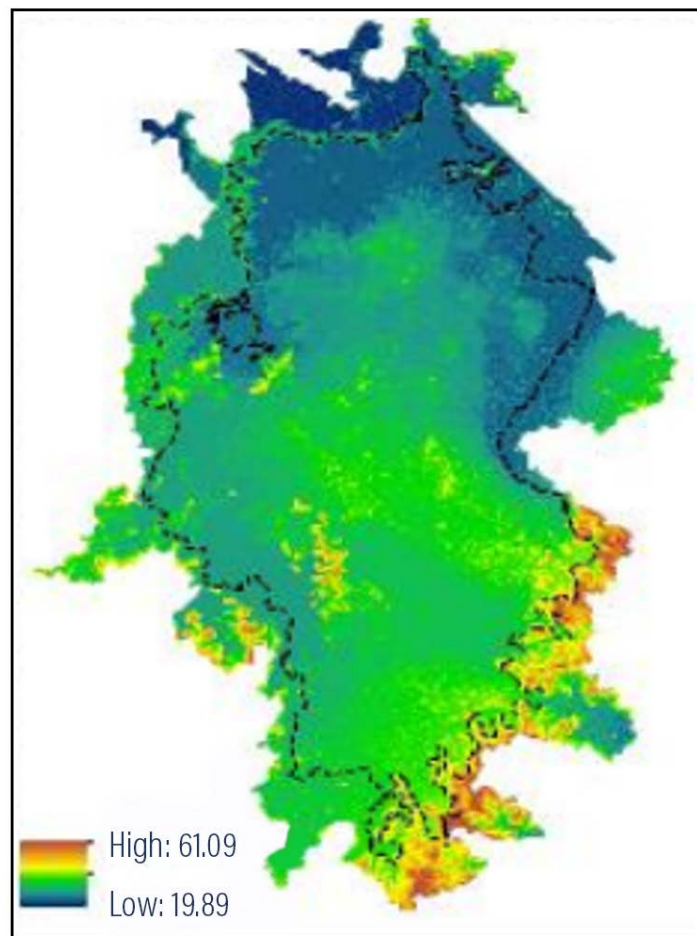
Gambar 5 | DEM hasil pengolahan data LiDAR KHG Kahayan-Sebangau (a) tanpa koreksi geoid dan (b) dengan koreksi geoid



Sumber: Danish Hydrological Institute (DHI), 2021

Untuk lokasi studi yang tidak memiliki data LiDAR, DEM yang digunakan berasal dari ALOS PALSAR. Apabila data LiDAR (atau data dengan resolusi yang baik) tidak ada, perlu dilakukan pengukuran lapangan terutama pada jaringan-jaringan kanal mengingat

terdapat banyak kanal yang memiliki lebar kurang dari 10 meter dan tidak dapat diidentifikasi dari data ALOS (resolusi 12,5 meter x 12,5 meter). DEM yang diperoleh dari ALOS PALSAR pada KHG Burnai–Sibumbang dapat dilihat pada Gambar 6.



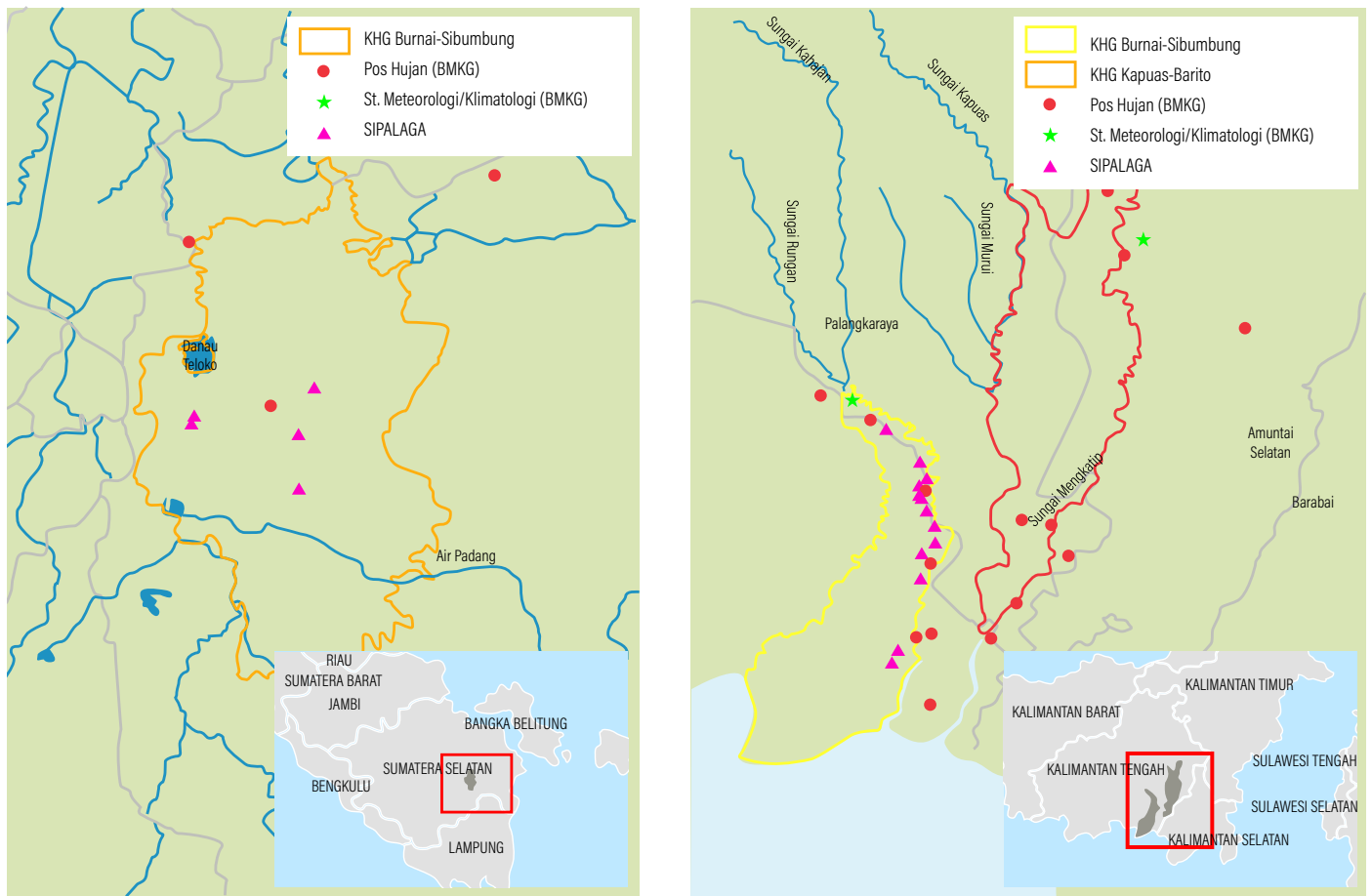
3.2 Penetapan Nilai Curah Hujan Wilayah

Presipitasi atau hujan adalah sumber air utama dalam siklus hidrologi pada KHG. Studi ini menggunakan data curah hujan dari BMKG dan BRG. Data BMKG bersumber dari stasiun pos hujan dan Unit Pelaksana Teknis (UPT), sedangkan data BRG diperoleh dari SIPALAGA, sebuah sistem pemantau data *real-time* dari alat pemantau tinggi muka air yang juga mengukur kelembapan tanah gambut, tingkat curah hujan, suhu, kelembapan udara serta arah dan kecepatan angin. Pada beberapa lokasi juga dilakukan pengukuran lapangan untuk mengisi data yang tidak tersedia. Data curah hujan yang diperoleh dari BMKG dan BRG memiliki

waktu pengukuran bervariasi mulai tahun 2016 hingga 2019. Data pengukuran di lapangan hanya meliputi periode pengukuran bulan November 2019 hingga November 2020.

Berdasarkan hasil perbandingan, data curah hujan yang diperoleh dari BRG memiliki rentang intensitas hujan yang lebih rendah dibandingkan data BMKG, sehingga diputuskan untuk menggunakan data BMKG. Pertimbangan lainnya, ketersediaan data observasi langsung dari BMKG mencakup periode pengukuran yang lebih panjang. Sebaran sumber stasiun pengukur hujan pada KHG Burnai–Sibumbung, KHG Kahayan–Sebangau dan KHG Kapuas–Barito dapat dilihat pada Gambar 7.

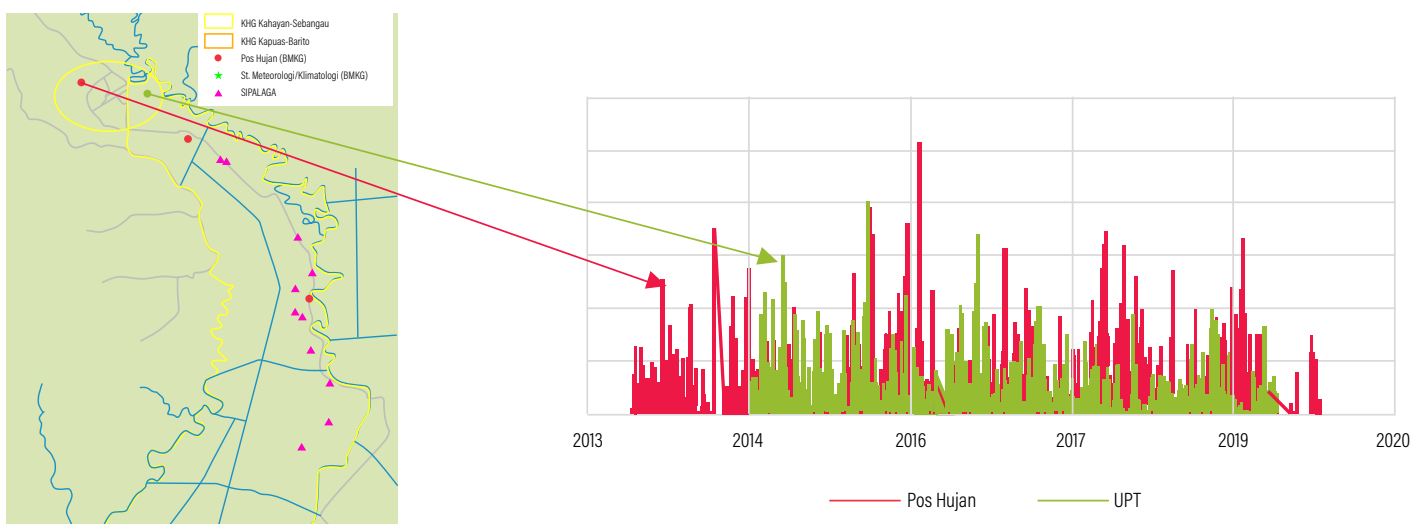
Gambar 7 | Sebaran sumber-sumber stasiun pengukur hujan



Tidak semua stasiun pengukuran curah hujan menyediakan data yang lengkap dan baik. Selain itu, terdapat beberapa stasiun yang terlampaui jauh dari lokasi studi sehingga dianggap tidak dapat

menggambarkan curah hujan pada KHG terkait. Oleh karena itu, perlu dilakukan seleksi (lihat Gambar 8) dan perbaikan data seperti pengisian data yang hilang serta pemeriksaan konsistensi data berdasarkan data dari beberapa stasiun di sekitarnya (Triatmodjo, 2014).

Gambar 8 | Perbandingan data pengukuran curah hujan Pos Hujan (merah) dengan UPT BMKG (hijau)



Stasiun pengukur hujan hanya memberikan besaran curah hujan di lokasi stasiun tersebut, sehingga hujan pada suatu luasan harus diperkirakan dari beberapa titik lokasi pengukuran. Apabila pada suatu daerah terdapat lebih dari satu stasiun pengukuran yang ditempatkan secara terpencar, curah hujan yang tercatat di masing-masing stasiun bisa jadi tidak sama. Dalam analisis hidrologi, tidak jarang diperlukan penentuan rerata hujan pada daerah tersebut dengan pendekatan analisis hujan wilayah.

Berdasarkan data curah hujan yang telah diseleksi dan diolah, analisis hujan wilayah menggunakan metode *Thiessen Polygon* digunakan untuk menghitung luas pengaruh rata-rata tiap stasiun (Triatmodjo, 2014) terhadap KHG terkait dengan rumusan sebagai berikut:

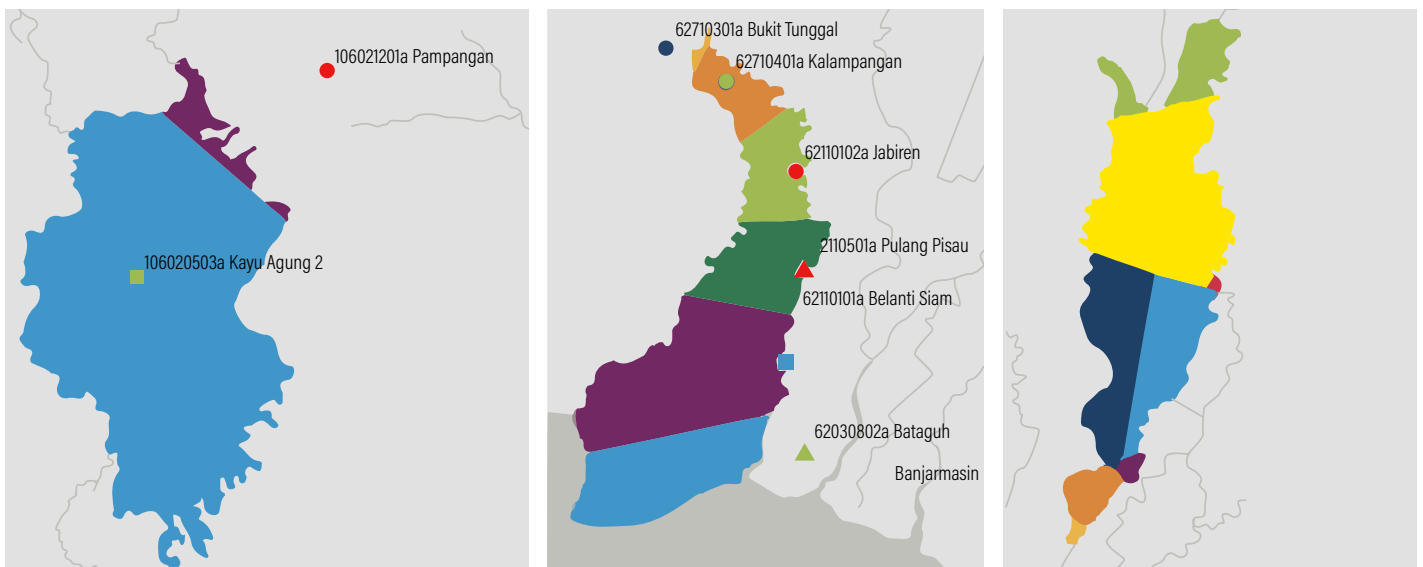
$$P = \frac{(A_1 \times P_1) + (A_2 \times P_2) + \dots + (A_n \times P_n)}{\sum A}$$

dengan:

- P = curah hujan rata-rata wilayah
- A_n = luas masing-masing poligon
- P_n = curah hujan masing-masing stasiun

Hujan wilayah sangat penting dalam pembobotan stasiun berdasarkan luas pengaruh tiap stasiun pengukuran hujan terhadap daerah tangkapan air lokasi studi. Besaran luas pengaruh tiap stasiun didapat dari luasan poligon yang memiliki titik pusat tepat berada pada masing-masing stasiun. Pada studi ini luasan poligon direpresentasikan oleh Gambar 9.

Gambar 9 | Poligon Thiessen untuk KHG Burnai-Sibumbang (kiri), Kahayan-Sebangau (tengah), dan Kapuas-Barito (kanan)



Penetapan Nilai Evapotranspirasi

Evapotranspirasi adalah kombinasi proses kehilangan air dari suatu lahan melalui proses evaporasi dari permukaan lahan dan transpirasi tanaman. Evapotranspirasi aktual (ET_a) adalah nilai evapotranspirasi yang dijadikan sebagai standar. Nilai tersebut diperoleh melalui pengujian nilai evapotranspirasi pada tanaman yang diairi secara baik (FAO, 1998). Pada studi model ini, perhitungan ET_a menggunakan metode yang direkomendasikan FAO yaitu Penman-Monteith Equation dengan bantuan FAO ET_a calculator tool (Monteith, 1965). Evapotranspirasi aktual dihitung dengan MIKE SHE berdasarkan variasi jenis vegetasi pada lokasi studi. MIKE SHE menggunakan metode Kristensen dan Jensen (1975) dalam mengkalulasi evapotranspirasi aktual dari tingkat potensial dan kelembapan tanah di zona perakaran yang telah didefinisikan berdasarkan variasi vegetasinya.

Evapotranspirasi aktual mencakup jumlah evapotranspirasi dari empat simpanan air, yaitu badan air, simpanan pada kanopi, transpirasi serta kenaikan kapiler pada evaporasi langsung air tanah (DHI, 2017). Pengukuran data klimatologi diperoleh dari Stasiun UPT BMKG, dengan detail elevasi stasiun dan periode ketersediaan data dapat dilihat pada Tabel 2.

Tabel 2 | Stasiun Pengukuran Data Klimatologi UPT BMKG

No	KHG	Nama Stasiun UPT	Lat	Long	Elevasi Stasiun (MSL)	Periode Ketersediaan Data
1	Kapuas-Barito	Stasiun Meteorologi Sanggu	-1,67	114,9	37	Jan 2018-Feb 2020
2	Burnai-Sibumbang	Stasiun Klimatologi Palembang	-2,92732	104,77197	11	Jan 2018-Feb 2020
3	Kahayan-Sebangau	Stasiun Meteorologi Tjilik Riwut	-2,22	113,95	27	Jan 2018-Feb 2020

Parameter klimatologi yang diperoleh dari stasiun UPT BMKG adalah kecepatan angin rata-rata (m/s), kelembapan relatif rata-rata (%), lama penyinaran matahari (jam) dan suhu udara rata-rata (°C). Kecepatan angin pengukuran perlu dikonversi ke kecepatan angin dengan ketinggian 2 meter di atas permukaan tanah. Data yang dikumpulkan lalu diuji dan dilakukan proses pengisian data yang kosong dengan interpolasi linear pada data iklim hasil pengukuran. Selain itu, data lokasi stasiun diperlukan untuk menentukan evapotranspirasi pada KHG yang ditinjau dan elevasinya terhadap muka air laut rata-rata (MSL).

Pada prinsipnya, model akan selalu berusaha agar evaporasi potensial terpenuhi dan jika jumlah air yang tersedia mencukupi pada keempat simpanan air di atas, laju evapotranspirasi potensial dapat terpenuhi. Selama kondisi air terbatas, nilai evapotranspirasi aktual bergantung pada kadar air aktual pada zona perakaran dan perkembangan tanaman (*crop development*). Perkembangan tanaman dideskripsikan sebagai deret waktu data kedalaman akar dan indeks luas daun (*Leaf Area Index/ILD*) pada setiap jenis vegetasi (DHI, 2017). Dalam kajian ini, indeks luas daun dan kedalaman akar memiliki nilai bulanan yang bervariasi bergantung pada musim dengan nilai yang digunakan sebagai input model dapat dilihat pada Tabel 3.

Tabel 3 | Indeks perkembangan tanaman (*crop development*)

Perkembangan Tanaman				
No	Akhir (hari)	ILD (-)	Akar (mm)	Kc (-)
1	0	1,5	100	1,05
2	31	1,5	150	1,05
3	59	3	250	1,05
4	90	3	400	1,2
5	120	4,5	500	1,2
6	151	6	600	0,9
7	181	6	700	0,9
8	212	1,5	150	1,05
9	243	3	250	1,05
10	273	3	400	1,2
11	304	4,5	500	1,2
12	334	6	600	0,9
13	365	6	700	0,9

Aliran keluar (*outflow*) pada arah lateral dan evapotranspirasi merupakan dua sumber utama kehilangan air (*water loss*) pada KHG lokasi studi. Proses evapotranspirasi di area perkebunan maupun area hutan rawa gambut perlu digambarkan dengan tepat mengingat parameter tersebut krusial terhadap keluaran model. Perbedaan utama dari segi hidrologi pada kedua area ini adalah penanganan dari masing-masing evapotranspirasi yang terjadi.

a. Deskripsi proses evapotranspirasi di area perkebunan

Terdapat variasi pada kanopi dan tutupan akar yang tergantung dari jenis tanaman di perkebunan tersebut. Transpirasi dan evaporasi pada kanopi merupakan sumber lain bagi evapotranspirasi dari badan air pada musim hujan dan evaporasi tanah yang terjadi hingga ke dalam tepi kapiler. Apabila ketersediaan air terpenuhi maka laju evapotranspirasi akan mendekati nilai laju evapotranspirasi potensial.

- b. Deskripsi proses evapotranspirasi di area hutan rawa gambut

Hutan rawa gambut terdiri atas beragam jenis hutan dengan tutupan kanopi yang rapat di seluruh area studi dan mendominasi total proses evapotranspirasi. Pada model numerik, hal ini digambarkan dengan area hutan campuran dengan simpanan intersepsi dan indeks luas daun yang tinggi dengan kedalaman akar yang tinggi pula (dibandingkan dengan area perkebunan).

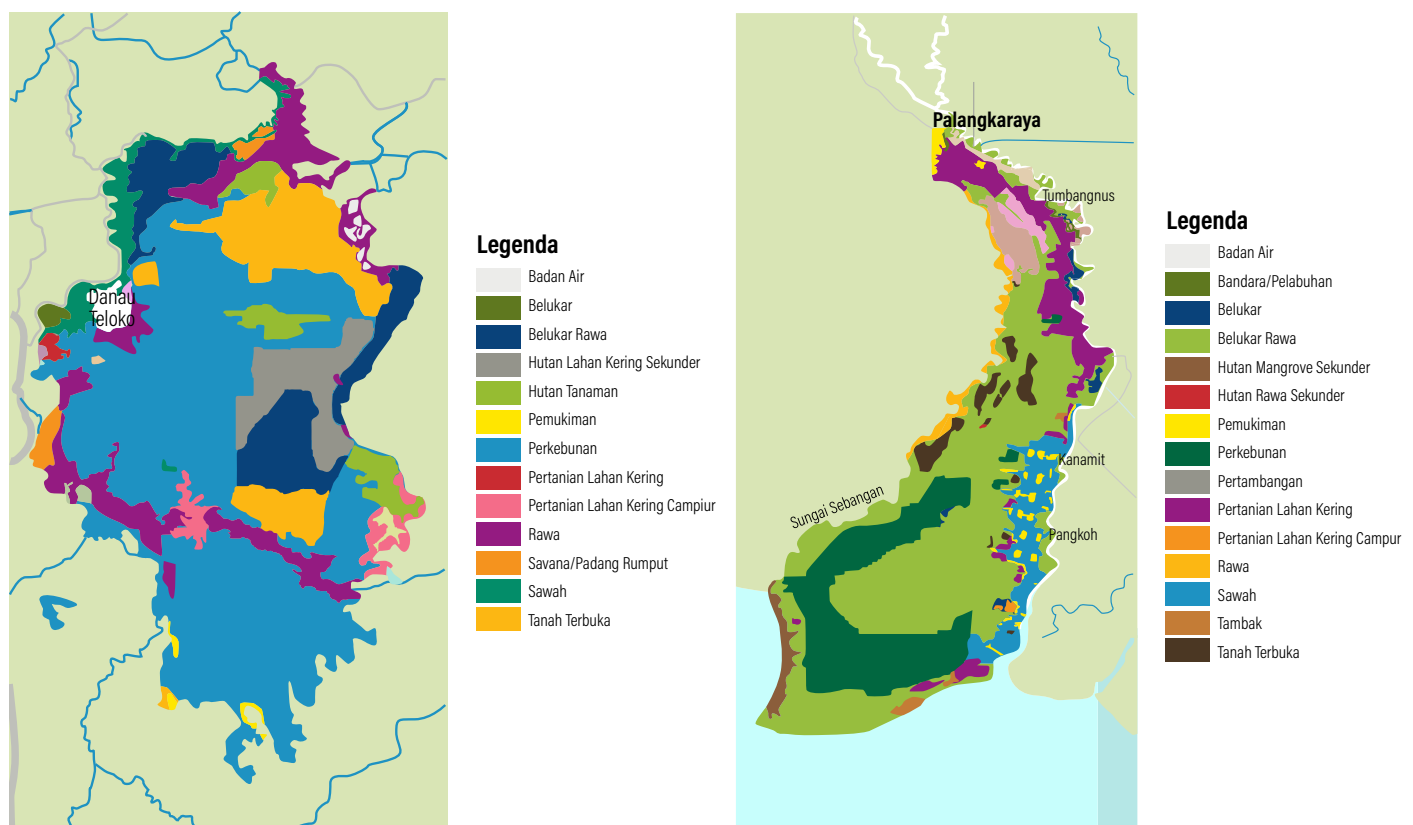
3.4 Penetapan Tutupan Lahan

Tutupan lahan merupakan komponen yang penting dalam siklus hidrologi. Pendefinisian tutupan lahan yang baik merepresentasikan kondisi alami permukaan lahan gambut karena akan menentukan distribusi atau

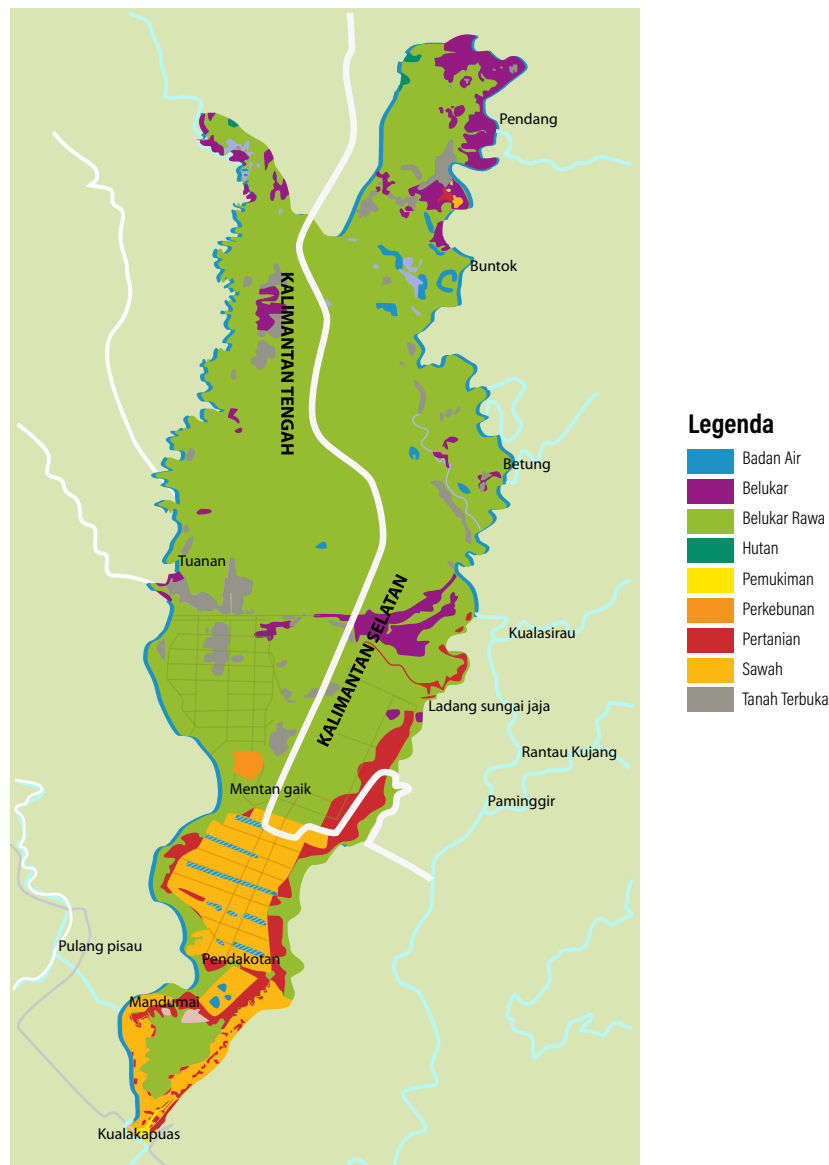
porsi air hujan yang turun. Porsi air hujan yang terdapat pada lapisan permukaan suatu lahan disebut sebagai limpasan. Limpasan dapat berkontribusi sebagai sumber aliran permukaan, aliran bawah permukaan atau aliran bawah tanah. Tutupan lahan menentukan porsi air hujan yang akan terlimpas pada permukaan gambut dan berkonsentrasi pada titik tertentu, aliran tersebut merupakan aliran permukaan (DHI, 2017).

Keragaman jenis tutupan pada lahan gambut mempengaruhi nilai debit aliran yang terjadi pada lokasi yang ditinjau. Hal ini disebabkan parameter kekasaran efektif Manning (lihat Sub-bab 3.7 Penetapan Aliran Permukaan) pada lokasi yang ditinjau sangat beragam dan bervariasi sesuai dengan tutupan lahan (lihat Tabel 4), seperti terlihat pada Gambar 10.

Gambar 10 | Sebaran variasi tutupan lahan untuk KHG Burnai-Sibumbang Provinsi Sumatera Selatan (kiri) dan KHG Kahayan-Sebangau Provinsi Kalimantan Tengah (kanan)



Gambar 11 | Sebaran variasi tutupan lahan untuk KHG Kapuas - Barito Provinsi Kalimantan Tengah



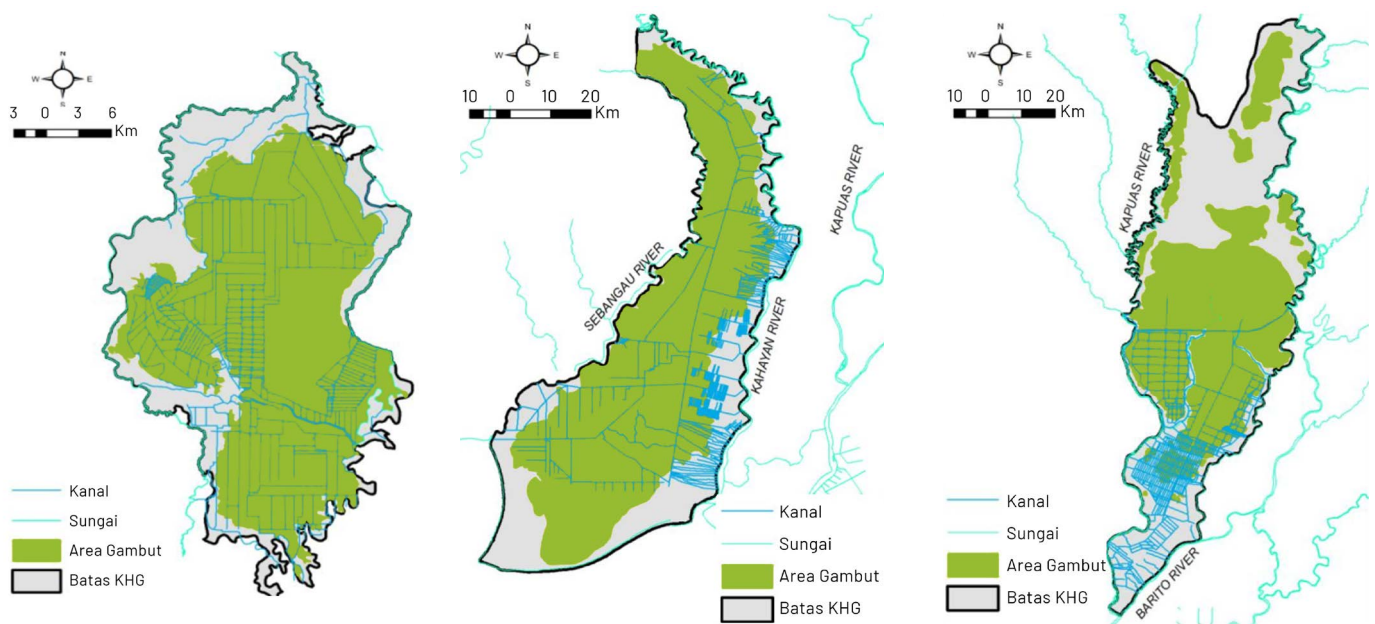
Peta di atas menunjukkan variasi tutupan lahan untuk KHG yang ditinjau. Perlu digarisbawahi bahwa penyederhanaan klasifikasi tutupan lahan perlu dilakukan apabila dua atau lebih jenis tutupan lahan memiliki perbedaan nilai koefisien kekasaran Manning yang relatif sama dan dapat diabaikan.

3.5 Penetapan Pola Aliran

Rawa gambut umumnya terletak di atas lapisan endapan aluvial yang kedap air sehingga aliran lateral akan mendominasi pergerakan pada daerah tersebut.

Aliran lateral akan menjadi aliran permukaan pada saat intensitas hujan melebihi laju infiltrasi pada bagian atas permukaan gambut yang permeabel. Aliran lateral cenderung lambat di bagian gambut yang dalam dan akan meningkat apabila muka air tanah mendekati permukaan gambut (Whitfield et al., 2009). Pola aliran dapat menunjukkan kecenderungan arah aliran air pada KHG yang ditinjau seperti yang terlihat pada Gambar 12.

Gambar 12 | Ilustrasi pola aliran pada setiap KHG: KHG Burnai–Sibumbang (kiri), KHG Kahayan–Sebangau (tengah), KHG Kapuas–Barito (kanan)



Pola aliran pada setiap KHG berbeda-beda dan sangat bergantung pada topografi area yang ditinjau. Sesuai ilustrasi di atas, pada KHG Burnai–Sibumbang pola aliran cenderung mengalir dari arah selatan sepanjang batasan KHG, lalu berkelok ke arah timur hingga bermuara di daerah pesisir. KHG Kahayan–Sebangau memiliki topografi yang relatif rendah dan datar dengan aliran air cenderung bergerak dari arah utara dan bermuara di selatan. Selain itu, muka air sebagian area KHG Kahayan–Sebangau juga dipengaruhi pasang surut air laut. Pada KHG Kapuas–Barito, di sisi timur dan barat terdapat dua buah sungai utama yang sekaligus menjadi pembatas KHG, sedangkan aliran air berasal dari utara dan bermuara di selatan.

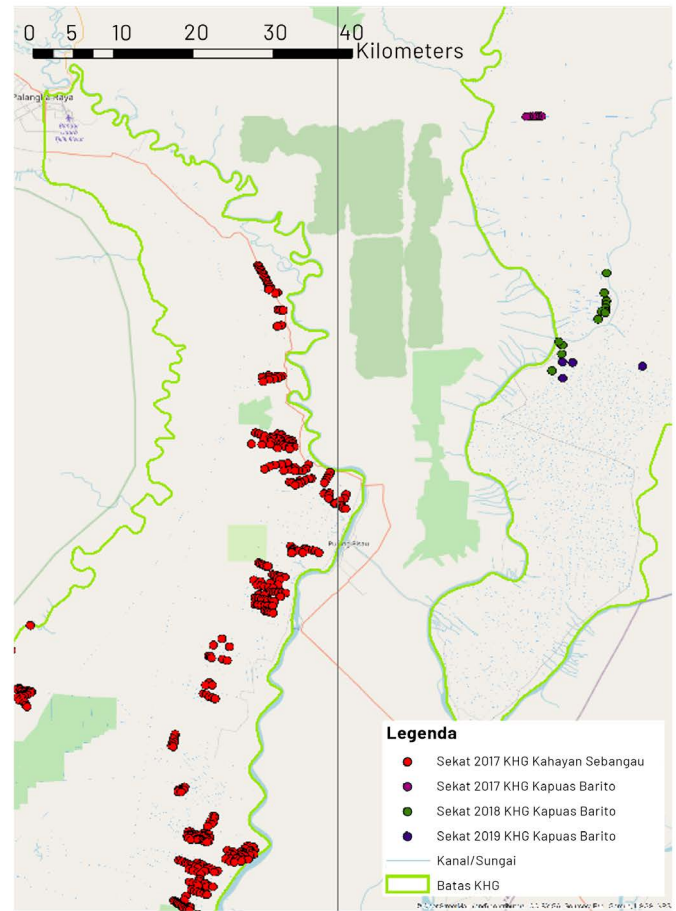
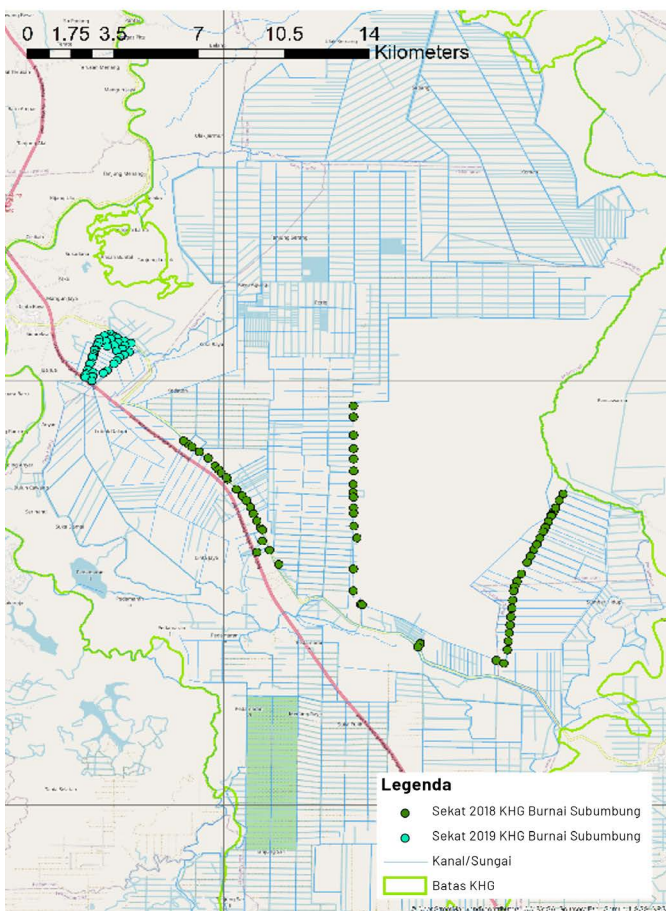
3.6 Penetapan Infrastruktur Pembasahan Gambut

Sebagaimana diuraikan pada bab sebelumnya, tingkat kebasahan lahan gambut harus selalu dijaga. Gambut yang terdegradasi akibat drainase berlebihan akan mengering dan berpotensi untuk terbakar. Kegiatan pembasahan gambut (*peatland rewetting*) adalah salah satu upaya untuk mengatasi kekeringan lahan gambut akibat drainase yang berlebihan.

Pembasahan gambut atau pembasahan kembali lahan gambut merupakan upaya aktif untuk membasahkan kembali lahan gambut yang kering melalui pembangunan berbagai Infrastruktur Pembasahan Gambut (IPG), seperti sekat kanal, penimbunan kanal dan teknik-teknik lainnya sesuai dengan perkembangan teknologi. Kegiatan tersebut dapat mengembalikan kebasahan lahan gambut yang terdegradasi akibat drainase berlebihan, agar pulih sesuai kondisi alami, sehingga potensi kebakaran pada lahan gambut dapat berkurang.

Untuk mencegah kebakaran lahan gambut, penurunan muka air tanah gambut perlu dijaga agar tidak melebihi batas yang ditetapkan. Pemerintah Indonesia telah menetapkan batas maksimum kedalaman muka air tanah gambut. Kriteria batas maksimum muka air tanah gambut yang ditoleransi adalah 0,4 meter dari permukaan tanah (PP Republik Indonesia No. 75 Tahun 2016). Untuk menjaga penurunan muka air tanah gambut, Pemerintah Indonesia melalui BRG telah membangun IPG pada lokasi-lokasi yang berpotensi terjadi kebakaran melalui kegiatan pembasahan lahan gambut. Pada studi ini, IPG yang disimulasikan adalah sekat kanal yang dibangun dengan menggunakan pelimpah (*spillway*) maupun tidak. Sebaran sekat kanal yang dibangun oleh BRG dapat dilihat pada Gambar 13.

Gambar 13 | Sebaran sekat kanal untuk KHG Burnai-Sibumbang (kiri), KHG Kahayan-Sebangau (tengah) dan KHG Kapuas-Barito (kanan)



Berdasarkan informasi BRG (2017), terdapat tiga teknik pembasahan gambut yang umum dilakukan yaitu:

1. Sekat kanal (*canal blocking*),
2. Penimbunan kanal (*canal backfilling*),
3. Sumur bor (*deep well*).

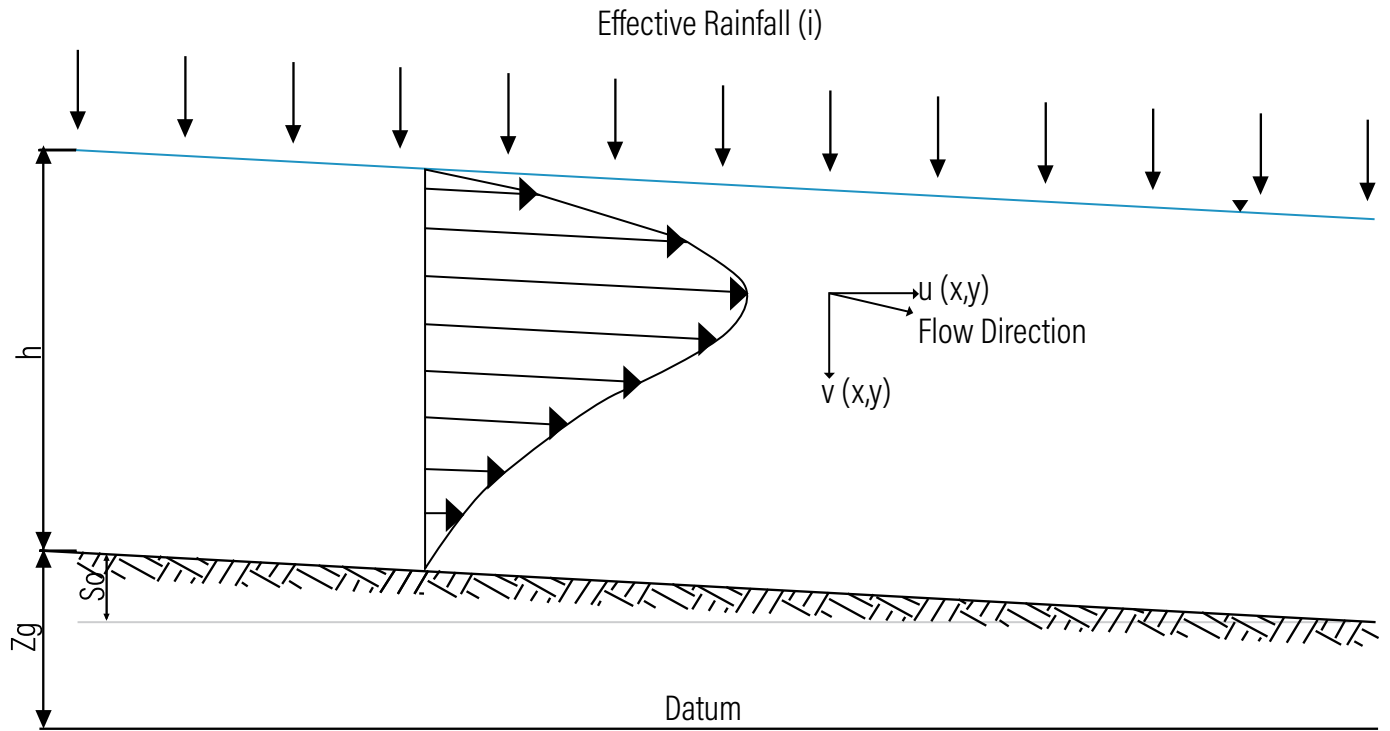
Keterbatasan data geometri sekat kanal merupakan tantangan yang sering terjadi dalam studi-studi model hidrologi, sehingga perlu diterapkan sejumlah asumsi pada studi ini. Pada sekat kanal yang menggunakan pelimpah, lebar pelimpah ditetapkan berdasarkan spesifikasi teknis yang direkomendasikan melalui PEDIRJEN No. P.4/PPKL/PKG/PKL.0/6/2019, sehingga asumsi sekat kanal yang disimulasikan pada model berfungsi secara ideal.

3.7 Penetapan Aliran Permukaan

Aliran permukaan mengindikasikan jumlah air yang mengalir pada permukaan suatu daerah tangkapan air menuju suatu badan air atau saluran, maupun sungai. Bentuk sederhana dari aliran ini adalah ketika terjadi aliran lembaran (*sheet flow*) yang mengalir pada permukaan tanah gambut (Ponce, 1989).

Teori di balik fenomena terjadinya aliran permukaan mengacu pada prinsip-prinsip mekanika fluida seperti aliran laminar dan turbulen, konservasi massa dan momentum dan aliran tak permanen atau aliran yang dapat berubah seiring waktu (*unsteady flow*) pada saluran maupun permukaan terbuka. Pendekatan dengan menggunakan metode *diffusive-wave* lebih tepat digunakan pada dataran rendah dengan gradien permukaan yang relatif kecil, dengan persamaan yang mengacu pada persamaan Saint-Venant (Refsgaard dan Sørensen, 1997).

Deskripsi matematis aliran permukaan mengacu pada persamaan konservasi massa pada mekanika fluida, atau lebih dikenal sebagai persamaan kontinuitas. Pada aliran satu dimensi, persamaan ini menyatakan bahwa perubahan aliran pada satuan panjang dengan volume yang seimbang terhadap perubahan waktu (Ponce, 1989). Ilustrasi aliran permukaan berdasarkan prinsip konservasi massa dan persamaan St. Venant direpresentasikan oleh Gambar 14.



Pada sistem koordinat kartesian (x,y), dengan Z_g sebagai elevasi muka tanah, kedalaman air dilambangkan dengan h , masukan pada aliran darat (hujan efektif atau hujan dikurangi dengan infiltrasi) i dan komponen kecepatan aliran pada sumbu x dan y adalah u dan v . Dengan hukum konservasi massa berlaku:

$$\frac{\partial h}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x}(uh) + \frac{\partial}{\partial y}(vh) = i$$

dan dengan persamaan momentum didapatkan S_f , kemiringan gaya friksi dengan permukaan tanah dengan S_o sebagai kemiringan dasar tanah terhadap datum/sumbu horizontal. Persamaan berikut secara umum dikenal sebagai persamaan St. Venant dan solusinya mendeskripsikan aliran dangkal dengan permukaan terbuka (DHI, 2017).

$$S_{fx} = S_{ox} - \frac{\partial h}{\partial x} - \frac{u}{g} \frac{\partial u}{\partial x} - \frac{1}{g} \frac{\partial u}{\partial t} - \frac{qu}{gh}$$

$$S_{fy} = S_{oy} - \frac{\partial h}{\partial y} - \frac{v}{g} \frac{\partial v}{\partial y} - \frac{1}{g} \frac{\partial v}{\partial t} - \frac{qv}{gh}$$

Ketika aliran air masuk (*inflow*) yang terdapat pada *model cell* yang telah didefinisikan melebihi kapasitas infiltrasi tanah, aliran tersebut akan menjadi genangan pada permukaan tanah. Aliran air ini akan menjadi aliran permukaan dan mengalir ke dataran rendah melalui sungai. Arah aliran dan kuantitas aliran permukaan ditentukan berdasarkan topografi dan resistensi alirannya serta kehilangan akibat evaporasi dan infiltrasi. Asumsi kondisi awal meliputi ketinggian air awal 0 meter dan simpanan detensi (*detention storage*) 5 milimeter. Laju aliran permukaan di lahan gambut cenderung rendah karena permukaan tanahnya yang relatif datar dan tidak bergelombang. Pada model numerik hal ini direpresentasikan dengan koefisien kekasaran yang kecil.

Koefisien kekasaran (n) Manning merupakan nilai yang merepresentasikan retensi permukaan yang memengaruhi laju aliran. Koefisien ini tergantung pada material saluran, ketidakberaturan permukaan, variasi dalam bentuk dan ukuran penampang basah (keliling yang terbasahi), vegetasi dan kondisi aliran. Persamaan Manning digunakan untuk menggambarkan kecepatan aliran dalam suatu saluran, namun dalam perhitungan hidrolika, seringkali digunakan untuk menyatakan persamaan matematis suatu aliran (DHI, 2017). Persamaan ini digambarkan sebagai berikut (Putro,

2013):

$$V = \frac{1}{n} R^{\frac{2}{3}} \sqrt{S}$$

Dimana,

- V = kecepatan rata-rata aliran [m/s]
 R = jari-jari hidraulik [m]
 n = koefisien kekasaran Manning
 S = kemiringan garis energi (%), untuk aliran seragam $S_f = S_w = S_o$
 S_o = kemiringan dasar saluran (%)
 S_w = kemiringan permukaan air (%)

Berdasarkan kedua persamaan di atas, dapat diartikan bahwa nilai *K* (Strickler) adalah invers dari koefisien kekasaran Manning (*n*) (DHI, 2017). Nilai *M* Manning dalam model ini ekuivalen terhadap koefisien kekasaran Strickler. Nilai Manning *M* merupakan *inverse* dari nilai *n* Manning konvensional. Nilai *n* Manning umumnya berkisar 0,01 (saluran halus) hingga 0,1 (saluran ditumbuhi vegetasi yang tebal) (Chow, 1959). Hal tersebut berkoresponden dengan nilai *M* antara 100 dan 10. Secara umum nilai *M* Manning yang kecil digunakan untuk aliran permukaan dibandingkan dengan aliran pada kanal ataupun sungai. Terdapat dua sumber data tutupan lahan untuk mengestimasi koefisien kekasaran Manning, yaitu BRG dan Kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan (KLHK) Republik Indonesia. Data KLHK dijadikan sebagai dasar kondisi awal dan divalidasi oleh data yang diperoleh dari BRG. Nilai kekasaran Manning dalam studi ini dapat dilihat pada Tabel 4.

Tabel 4 | Nilai *M* Manning berdasarkan tata guna lahan

Kategori Tata Guna Lahan	M Manning		
	KHG Burnai-Sibumbang	KHG Kahayan-Sebangau	KHG Kapuas-Barito
Tanah Terbuka	33,33	33,33	33,33
Perkebunan	-	6,25	-
Sawah	6,67	25	28,57
Hutan Mangrove	-	8,33	-
Pemukiman	10	10	10
Pertanian Lahan Kering Campur	-	10	-
Belukar Rawa	8,33	25	8,3
Pertanian	28,57	-	28,57
Belukar	10	10	10
Hutan Tanaman Industri	6,25	-	-
Perkebunan Sawit	6,25	-	-
Rawa	-	-	8,33
Hutan	-	-	6,25
Vegetasi Lainnya	6,25	6,25	-
Badan Air	25	25	25
Hutan Lindung	-	6,25	-
Tambak Ikan	-	25	-
Hutan Dataran Rendah	-	6,25	-
Pekerbunan Umum	-	-	-

3.8 Pendefinisian Hidrolika Kanal dan Sungai

Secara umum, batasan (*boundary*) dari sebuah kesatuan hidrologis gambut merupakan sungai yang menjadi parameter vital terhadap model numerik karena mendeskripsikan fenomena yang terjadi pada batasan-batasan tersebut. Pendefinisian kondisi-kondisi batas yang tidak tepat dapat mengubah

hasil pemodelan. Tinggi muka air awal pada kanal menyesuaikan dengan tinggi muka air tanah gambut. Tinggi muka air di kanal dan sungai berperan sebagai batasan alami (*head*), yang memungkinkan rembesan (*seepage*) terjadi menuju badan air maupun sebaliknya.

3.9 Penetapan Jumlah Air yang Terdrainase

Peranan kanal drainase di lingkungan rawa gambut untuk lokasi studi telah diteliti. Umumnya, kanal-kanal tersebut merupakan faktor utama dalam menurunkan tinggi muka air di lahan gambut. Oleh karena itu, studi akan pengaruh kanal-kanal buatan terhadap penurunan muka air tanah di tiap lokasi kajian sangat penting.

Saluran buatan atau kanal di lahan rawa gambut umumnya dibuat untuk mengeringkan lahan gambut atau sebagai lajur akses moda transportasi air. Dimensi kanal bergantung pada kawasan dan komoditas yang akan dikembangkan (Subiksa *et al.*, 2011).

Terdapat tiga jenis kanal atau drainase yang diklasifikasi berdasarkan fungsi dan ordenya (Wetlands International, 2008), yaitu:

- Kanal primer: saluran terbesar yang menghubungkan sumber air atau sungai dengan saluran sekunder. Saluran ini secara tradisional sering pula disebut sebagai *handil*
- Kanal sekunder: cabang saluran primer yang menghubungkannya dengan saluran tersier
- Kanal tersier: cabang saluran sekunder yang menghubungkannya dengan saluran yang lebih kecil yang terdapat dalam sistem tata air mikro

Model hidrologi harus mencakup seluruh kanal yang berpengaruh besar terhadap muka air tanah. Pengaliran air tanah digambarkan oleh fungsi linear sederhana berbasis tampungan dimana jumlah air yang terdrainase adalah (DHI, 2017):

$$Q_{dr} = (h - z_{dr}) \times C_{dr}$$

Dimana,

Q_{dr} = jumlah aliran air yang terdrainase [m/s]

h = tinggi muka air tanah [m]

z_{dr} = kedalaman drainase (kedalaman di bawah muka tanah) [m]

C_{dr} = konstanta waktu drainase [s⁻¹]

Hal ini menunjukkan bahwa drainase hanya terjadi pada periode dimana tinggi muka air tanah gambut berada di atas kedalaman drainase yang didefinisikan.

Konstanta waktu drainase menunjukkan waktu detensi drainase atau respons terhadap perubahan tinggi muka air tanah. Konstanta drainase yang tinggi menggambarkan bahwa responsnya sangat cepat dan menghasilkan hidrograf yang curam. Konstanta drainase

yang rendah menggambarkan respons yang lambat dan menghasilkan hidrograf yang cenderung landai.

3.10 Penetapan Aliran Tak Jenuh (*Unsaturated Flow*)

Untuk studi kali ini, model dua lapisan zona tak jenuh (*Unsaturated Zone two layers model*) digunakan dalam pemodelan MIKE SHE (DHI, 2017). Model ini dipilih berdasarkan beberapa pertimbangan, di antaranya:

- a. Kurangnya data aktual untuk zona tak jenuh.
- b. Metode ini dikembangkan untuk dataran rendah di mana tinggi muka air tanah cukup dekat ke permukaan tanah.
- c. Metode ini secara komputasional lebih cepat dibandingkan metode lainnya.
- d. Pada studi kali ini, zona tak jenuh sangatlah dangkal. Nilai konduktivitas hidrolik tanah zona tak jenuh berdasarkan tata guna lahan di KHG Burnai–Sibumbang, KHG Kahayan–Sebangau dan KHG Kapuas–Barito dapat dilihat pada Lampiran 2–4.

3.11 Penetapan Aliran Jenuh (*Saturated Flow*) dan Unit Geologi

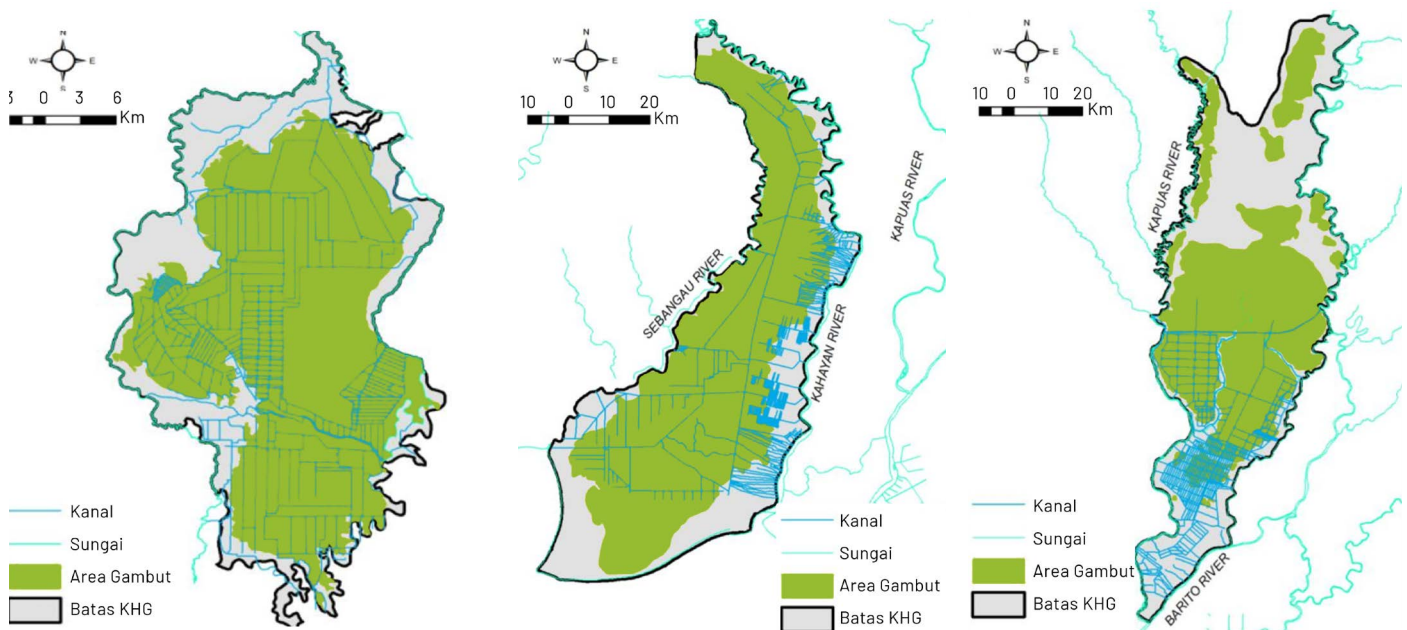
Zona jenuh didefinisikan sebagai pendekatan berdasarkan unit geologis karena sifat-sifat tanah yang tidak terdistribusi secara seragam. Penentuan data geologis diperhitungkan berdasarkan lapisan-lapisan geologi. Distribusi unit geologis pada setiap lapisan geologi diasumsikan melalui poligon-poligon yang menggambarkan sebarannya, di mana setiap poligon memiliki nilai konduktivitas hidroliknya masing-masing.

Penentuan nilai parameter pada setiap unit geologi dilakukan berdasarkan variasi temporal sifat-sifat tanah dan akuifer. Data yang digunakan pada model ini mengacu dari hasil observasi sejumlah studi sebelumnya, dengan beberapa penyesuaian tahap kalibrasi (Lampiran 5–Lampiran 7).

3.12 Penetapan Sebaran Gambut

Lensa atau lentil dalam istilah geologi merupakan formasi geologis yang dibatasi oleh permukaan yang menyatu, tebal di tengah dan menipis ke tepi, menyerupai lensa cembung. Pada riset ini, lapisan gambut pada KHG yang ditinjau tidak tersebar secara merata, maka unit geologi ini ditentukan menggunakan lensa geologi. Lensa geologi pada studi ini diklasifikasi menjadi dua lapisan, yaitu lapisan gambut (sesuai dengan kedalaman gambut) dan lapisan tanah mineral atau substratum di bawah gambut (dasar gambut hingga kedalaman 20 meter). Deskripsi lensa geologi pada studi ini terlihat pada Gambar 15.

Gambar 15 | Sebaran gambut yang direpresentasikan oleh lensa geologi pada KHG Burnai-Sibumbang (kiri), Kahayan-Sebangau (tengah) dan Kapuas-Barito (kanan)

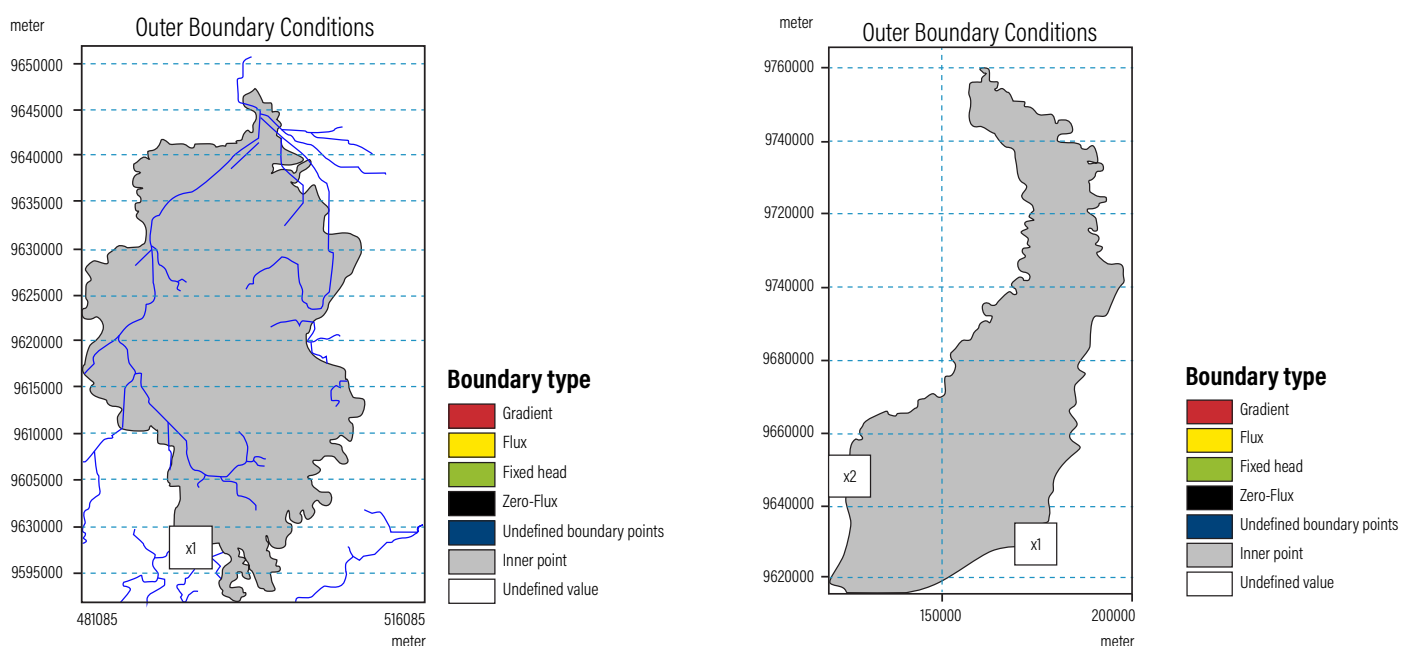


3.13 Penetapan Kondisi Batas (*Boundary Conditions*)

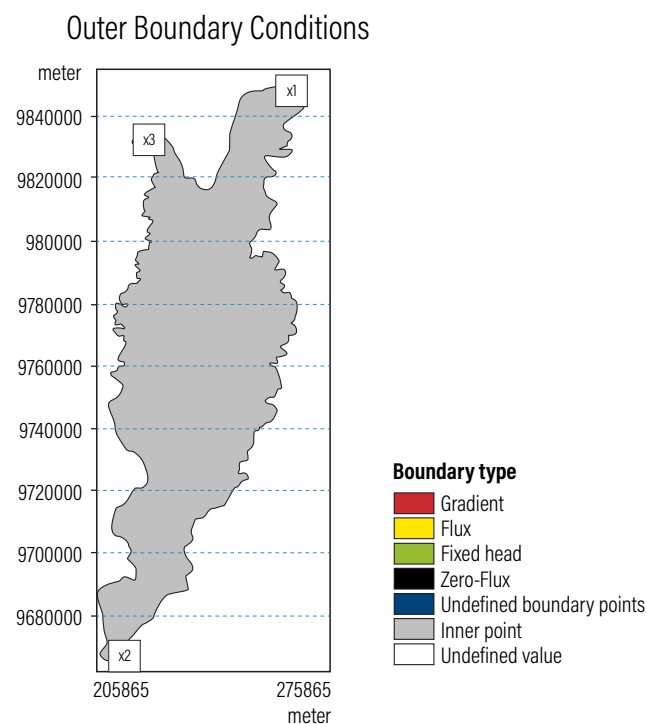
Kondisi batas terluar sebuah model hidrologi gambut mengacu pada batasan terluar KHG yang umumnya adalah sungai utama ataupun pantai yang dipengaruhi pasang surut air laut. Dalam konteks pemodelan hidrologi kondisi tersebut direpresentasikan oleh tinggi energi (*head*). Apabila kedalaman air di dalam domain

model lebih besar daripada kondisi awal simulasi, air akan mengalir keluar dari dalam model. Sebaliknya, apabila kedalaman air lebih kecil dibandingkan kondisi awal pada batas terluar model, kondisi batas tersebut akan menjadi sumber air. Kondisi batas untuk kedua domain model direpresentasikan oleh pasang surut muka air (*zero-flux*) yang menyesuaikan dengan kondisi KHG (lihat Gambar 16-17).

Gambar 16 | Deskripsi *Boundary Conditions* pada KHG Burnai-Sibumbang (kiri) dan Kahayan-Sebangau (kanan)



Gambar 17 | Deskripsi *Boundary Conditions* pada KHG Kapuas-Barito



Nilai kondisi batas yang diasumsikan berupa serial data tinggi muka air (*head*), pada KHG yang berbatasan langsung dengan sungai diasumsikan tidak berpengaruh terhadap kondisi keseluruhan KHG. Sedangkan pada KHG yang berbatasan langsung dengan muka air laut, nilai pasang surut merupakan *initial head* untuk simulasi pada KHG tersebut. Tipe *boundary conditions* berdasarkan geometri atau batasan masing-masing KHG adalah sebagai berikut:

Tabel 5 | Tipe *Boundary Conditions* pada masing-masing KHG

KHG	Segmen/Sisi	Tipe
Kapuas-Barito	Sungai (Timur)	flux nol
	Sungai (Barat)	flux nol
	Daratan	flux nol
Burnai-Sibumbang	Seluruh Sisi KHG	flux nol
Kahayan-Sebangau	Selatan (1-2)	<i>head</i> (pasang surut)
	Utara (2-1)	flux nol

Sebagaimana dijelaskan dalam Sub-bab 3.5 (Penetapan Pola Aliran), pada KHG Kapuas-Barito sisi timur dan barat terdapat dua buah sungai yang mengapit KHG tersebut. Adapun tipe *boundary condition* ditetapkan sebagai flux nol yang artinya pada seluruh sisi luar KHG tidak terdapat aliran masuk atau keluar yang dapat memengaruhi neraca air atau sistem hidrologi pada KHG tersebut. Pada KHG Burnai-Sibumbang,

seluruh sisi KHG pun ditetapkan sebagai flux nol. Namun, pada KHG Kahayan-Sebangau, sisi selatan KHG tersebut dibatasi oleh tipe *boundary condition* muka air pasang surut air laut (dalam model ini dinamakan *head*) yang merepresentasikan muka air hasil observasi pasang surut air laut. Sedangkan pada sisi utara KHG ini dibatasi oleh tipe *boundary condition* flux nol.

3.13 Penetapan Sistem Referensi dan Penelusuran Aliran (*Routing*)

Secara alami, aliran permukaan tidak mengalir terus menerus sebagai aliran lembaran (*sheet flow*) (lihat Sub-bab 3.7 Penetapan Aliran Permukaan), melainkan mengalir ke saluran-saluran alami dan buatan, lalu berakhir di sungai atau badan air lainnya. Jumlah limpasan permukaan yang dihasilkan bergantung pada kerapatan jaringan saluran (alami maupun buatan) yang telah didefinisikan. Apabila jaringan saluran atau sungai rapat, maka semakin banyak limpasan yang dihasilkan pada model karena waktu tempuh ke saluran relatif singkat. Selain itu, abstraksi akibat evaporasi dan infiltrasi akan lebih kecil.

Dalam pemodelan numerik dengan skala yang detail (*finer-scale*), sungai dan saluran buatan umumnya sulit untuk disimulasikan menggunakan Metode Elemen Terhingga (*finite element method/FEM*) karena seringkali ukuran saluran drainase lebih kecil daripada skala grid. Proses drainase atau pengaliran terjadi antarnode dan alur pengaliran akan berakhir apabila menemui suatu saluran atau sungai, batasan (*boundary*) atau depresi lokal. Alur pengaliran ditentukan berdasarkan kemiringan lahan atau beda tinggi antar-*cell*, apabila tidak terdapat beda tinggi pada *cell* sekitarnya maka akan terjadi depresi buatan.

Drainase pada lapisan jenuh merupakan kondisi batas khusus pada MIKE SHE. Kondisi batas ini digunakan untuk mendefinisikan sistem drainase alami maupun buatan, yang tidak dapat didefinisikan pada MIKE Hydro River. Hal ini juga dapat digunakan untuk mensimulasikan aliran permukaan dengan pendekatan konseptual. Air yang dibuang dari zona jenuh akibat adanya saluran drainase akan mengarah ke badan air di sekitarnya.

Penelusuran drainase berdasarkan kode grid digunakan dalam kajian ini, dikarenakan topografi pada lahan gambut relatif datar, yang memungkinkan terjadinya depresiasi buatan. Pada riset ini, tingkatan drainase, konstanta waktu dan jumlah air yang terdrainase dihitung berdasarkan orde atau tingkatan drainase. Peta kode grid diperlukan untuk membatasi

area pencarian untuk sistem referensi *source-recipient*. Dalam hal ini, model akan melakukan perhitungan sistem referensi dalam setiap zona kode grid, sehingga semua drainase yang dihasilkan dalam satu zona diteruskan ke node penerima dengan nilai kode drainase yang sama. Penetapan kode drainase pada masing-masing KHG direpresentasikan pada Lampiran 8- 9.

3.14 Interaksi Antara Aliran Permukaan dan Air Bawah Tanah (*Groundwater*)

Untuk setiap area KHG di mana tinggi muka air tanah dekat dengan permukaan, untuk periode yang cukup signifikan setiap tahunnya, interaksi antara air bawah tanah dan air permukaan sangat penting. Interaksi antara aliran permukaan dan aliran bawah tanah dapat dibagi menjadi dua proses, yaitu:

- Aliran saat area tergenang, pertukaran antara aliran permukaan dan tanah di bawahnya
- Pertukaran antara saluran atau sungai dengan tanah di sekitarnya

Model numerik juga mampu menangani kedua situasi di atas. Pertukaran antara aliran permukaan dengan tanah yang jenuh dilakukan dengan memperbarui tinggi muka air aliran permukaan secara berkala dan dihitung berdasarkan persamaan Darcy (Whitfield et al, 2009; DHI, 2017).

Di mana C merupakan konduktansi dari permukaan hingga tengah *layer* komputasi. Konduktansi dapat dihitung berdasarkan konduktivitas hidrolik vertikal pada model geologis atau dengan menggunakan nilai koefisien spesifik.

Pertukaran aliran air di sungai atau saluran dengan akuifer dihitung berdasarkan perbedaan energi (*head*) antara sungai dengan akuifer di sekitar dan konduktansinya. Konduktansi antara akuifer dengan sungai bergantung pada:

- Konduktivitas material penyusun akuifer
- Konduktivitas material dasar saluran, atau
- Konduktivitas material penyusun akuifer dan dasar saluran.

Perlu digarisbawahi bahwa nilai-nilai asumsi konduktivitas material pada studi ini mengacu pada nilai konduktivitas material berdasarkan dasar saluran.

4. KALIBRASI MODEL

Konseptualisasi dan pendefinisian model yang tepat sangat penting mengingat model hidrologi yang digunakan berbasis fisik dan terdistribusi secara spasial (Thompson et al, 2004). Namun, karena sumber daya komputasi yang terbatas, model konseptual harus cukup sederhana sehingga proses kalibrasi dan proses lainnya yang dijalankan dalam pemodelan dapat disimulasikan dalam model numerik dengan pengoperasian dalam waktu yang wajar. Di sisi lain, model harus tetap merepresentasikan sistem hidrologi yang disusun secara akurat serta mewakili aspek yang krusial dalam model hidrologi.

Tujuan dari pendefinisian model numerik adalah untuk menggambarkan proses yang sangat kompleks di alam melalui persamaan matematis (DHI, 2021). Data input yang digunakan ke dalam model numerik adalah kumpulan data parameter berbasis fisik, berdasarkan pengukuran lapangan, tata guna lahan dan nilai-nilai yang berbasis vegetasi yang tersedia dalam literatur. Kalibrasi bertujuan mengoptimalkan nilai parameter untuk meningkatkan koherensi antara respon hidrologi yang teramati di lapangan dan tersimulasi model (DHI, 2021). Parameter yang dapat disesuaikan selama kalibrasi menjadi sangat bergantung pada jumlah parameter kalibrasi, karena model air tanah dan air permukaan berisi sejumlah besar data input. Dalam proses kalibrasi, akan selalu ada risiko parameterisasi berlebih atau dengan kata lain terlalu banyak parameter yang digunakan. Hal ini dapat menghasilkan model yang sesuai dengan KHG yang diamati, namun memiliki kemampuan prediksi yang terbatas karena parameter model tidak mencerminkan kondisi sebenarnya. Parameter tersebut merupakan kombinasi non-unik dari parameter yang tidak realistis secara fisik, tidak merespons secara tepat input parameter lainnya (misalnya, curah hujan). Oleh karena itu, penting untuk menyesuaikan parameter dalam kisaran yang dapat diterima, ditentukan dari sumber data yang tersedia, serta untuk meminimalkan jumlah parameter yang disesuaikan selama proses kalibrasi.

Ketika melakukan kalibrasi model yang terintegrasi, prosesnya akan terfokus pada mensimulasikan dinamika nilai yang diamati, seperti tinggi muka air tanah gambut. Dinamika air tanah sebagian besar didorong oleh pengisian ulang dari aliran permukaan melalui zona tak jenuh. Data input yang tepat untuk curah hujan dan evapotranspirasi serta parameter hidrogeologi untuk lapisan geologi bagian atas sangat penting agar model mampu mensimulasikan fluktuasi tinggi muka air tanah di lahan gambut. Air permukaan, berupa aliran sungai maupun aliran permukaan di lahan gambut, juga harus terwakili dengan tepat. Parameter hidrogeologi dari berbagai lapisan, termasuk zona tak jenuh, sangat

penting untuk proses kalibrasi. Konduktivitas hidrolik mengontrol keseluruhan tinggi muka air tanah dan pola aliran, sedangkan koefisien tampungan (tampungan spesifik) hanya mengontrol fluktuasi tinggi muka air tanah.

4.1 Pendekatan Proses Kalibrasi

Kalibrasi dilakukan secara manual dengan membandingkan data tinggi muka air tanah yang terukur di lapangan dengan keluaran model. Analisis neraca air juga dilakukan untuk memperoleh gambaran utuh performa model yang disusun.

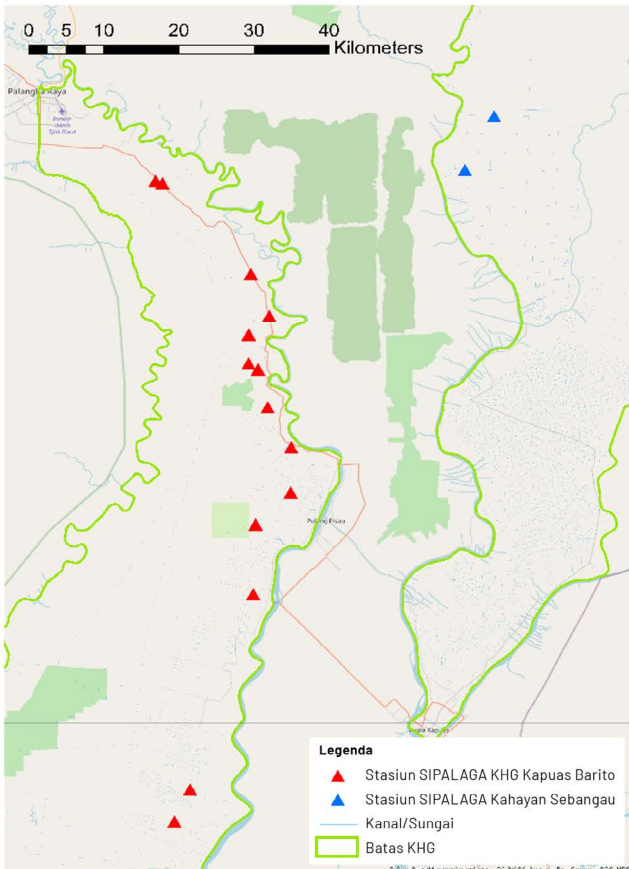
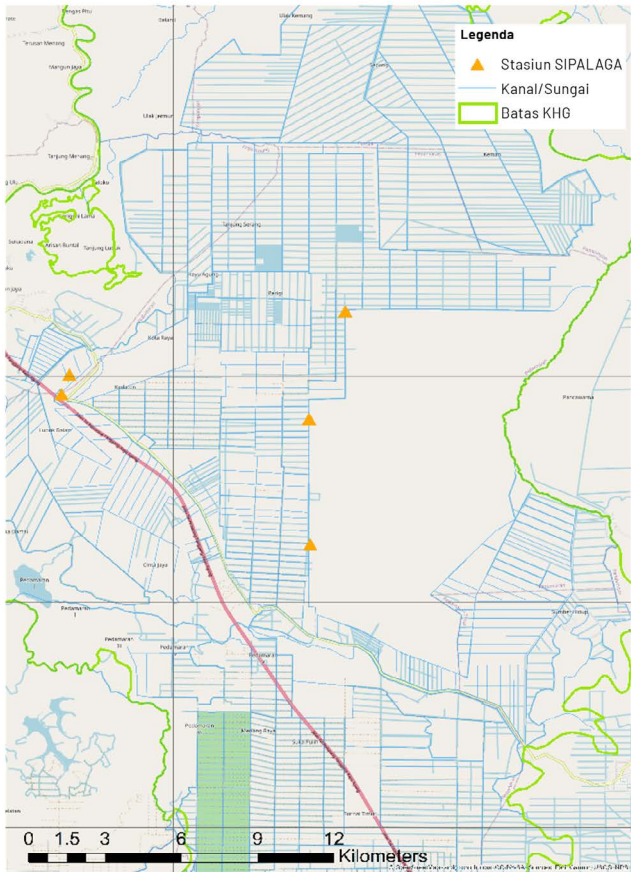
Tujuan dari kalibrasi pada riset model hidrologi gambut adalah untuk menyesuaikan parameter input sehingga model dapat menghasilkan nilai yang sedang diamati (misal, tinggi muka air tanah atau TMA gambut) sampai mendekati nilai yang terukur di lapangan. Dalam studi ini, tinggi muka air tanah yang diukur dari stasiun SIPALAGA digunakan untuk dibandingkan dengan tinggi muka air tanah hasil simulasi model.

Tabel 6 | Rekapitulasi data TMA observasi pada setiap KHG

KHG	Jumlah Stasiun SIPALAGA	Periode kalibrasi
Burnai-Sibumbang	4	1 November 2018–30 Oktober 2019
Kahayan-Sebangau	5	1 September 2018–30 Oktober 2019
Kapuas-Barito	1	08 Januari 2019 –16 Agustus 2019

Tabel di atas menunjukkan stasiun SIPALAGA yang digunakan sebagai parameter pembanding dengan hasil yang diperoleh model. Jumlah stasiun SIPALAGA yang digunakan dalam proses kalibrasi adalah empat stasiun untuk KHG Burnai-Sibumbang, lima stasiun untuk KHG Kahayan-Sebangau dan satu stasiun untuk KHG Kapuas-Barito. Periode kalibrasi yang diimplementasikan sesuai dengan tabel tersebut. Setiap stasiun dapat memiliki periode kalibrasi yang berbeda. Sebaran stasiun SIPALAGA dapat dilihat pada Gambar 18 di bawah ini. Tidak semua stasiun digunakan dalam proses kalibrasi karena ketersediaan dan kualitas data yang kurang memadai.

Gambar 18 | Sebaran Stasiun SIPALAGA pada KHG Burnai-Sibumbang (kiri), KHG Kahayan-Sebangau dan Kapuas-Barito (kanan)



4.2 Parameter Kalibrasi

Pada studi ini, terdapat beragam parameter yang harus dikalibrasi karena kompleksitas susunan model yang terintegrasi ini bersifat sangat tinggi. Berdasarkan simulasi pengujian manual pada model *baseline* dipahami bahwa hasil model memiliki kepekaan terhadap beberapa parameter yang tercantum di bawah ini dan akan menjadi fokus pada proses kalibrasi.

- **Komponen Aliran Jenuh:** parameter-parameter dibawah ini berkaitan erat dengan perubahan *head* pada aliran air tanah dan fluktuasi muka air tanah
 - Konduktivitas Hidrolik (K)
 - Koefisien Simpanan/*Storage Coefficient* (Ss)
 - Koefisien Hasil Spesifik (Porositas Drainase)/*Specific Yield* (Sy)
- **Komponen Aliran Tak Jenuh:** parameter-parameter ini memengaruhi kemampuan tanah dalam mengalirkan air pada zona aliran jenuh yang mengakibatkan genangan/limpasan dan evapotranspirasi
 - Konduktivitas Hidrolik Jenuh
 - Parameter lengkung konduktivitas
 - Parameter lengkung retensi
- **Komponen Aliran Permukaan;** waktu konsentrasi aliran dan debit puncak berhubungan erat dengan parameter berikut
 - Kekasaran permukaan/Manning (M)
 - Simpanan permukaan/Detensi
- **Komponen Interaksi Akuifer-Kanal:** *leakage coefficient* mengontrol jumlah aliran air antara aliran permukaan dan aliran air tanah yang prosesnya terjadi melalui dasar saluran/kanal.
- **Komponen evapotranspirasi;** Indeks Luas Daun (ILD), kedalaman akar dan koefisien tanaman (*crop coefficient*).

4.3 Metode Kalibrasi dan Validasi Model

Kalibrasi merupakan proses estimasi nilai-nilai parameter agar model hidrologi yang diperoleh sesuai atau setidaknya mendekati nilai observasi (Singh dan

Frevert, 2002). Proses kalibrasi dan validasi model diperoleh dengan membandingkan keluaran model yang mensimulasikan kondisi sesungguhnya (*baseline*) dengan data observasi, lalu dilakukan penyesuaian pada parameter tertentu sehingga didapatkan model yang valid untuk setiap KHG. Selama proses kalibrasi akan ada dataset yang diprediksi-hasil keluaran model-yang memiliki kecenderungan yang baik dan hampir sama jika dibandingkan dengan data observasi. Di sisi lain, terdapat kumpulan data yang diprediksi mungkin tidak tepat dan memerlukan pemodelan ulang atau tindakan penyesuaian pada parameter tertentu. Koefisien determinasi (R^2) dan koefisien efisiensi model Nash–Sutcliffe Efficiency (NSE) dapat digunakan untuk memeriksa “*goodness of fit*” atau kemiripan antara data hasil model dengan data observasi serta untuk mendapatkan nilai pasti atau tingkat keberhasilan dari prediksi model ini (Nash dan Sutcliffe, 1970). Koefisien determinasi didefinisikan sebagai nilai kuadrat dari koefisien korelasi berdasarkan Bravais-Pearson. Nilai R^2 dapat dikalkulasikan menggunakan rumus

$$R^2 = \frac{(O - \bar{O})^2 - (O - S)^2}{(O - \bar{O})^2}$$

dimana O adalah data observasi, adalah data observasi rata-rata dan S adalah data simulasi. Kisaran nilai R^2 diantara 0 dan 1 menggambarkan seberapa banyak sebaran data observasi yang dapat dijelaskan oleh data simulasi. Pada dasarnya nilai $R^2 \geq 0,5$ dianggap dapat diterima (Moriassi *et al.* 2007), sehingga model yang dibuat dapat dipergunakan untuk mensimulasikan skenario yang diinginkan. Adapun persamaan dari model Nash–Sutcliffe Efficiency (NSE) adalah sebagai berikut:

$$NSE = 1 - \left[\frac{\sum_{i=1}^n (Y_i^{obs} - Y_i^{sim})^2}{\sum_{i=1}^n (Y_i^{obs} - \bar{Y}^{obs})^2} \right]$$

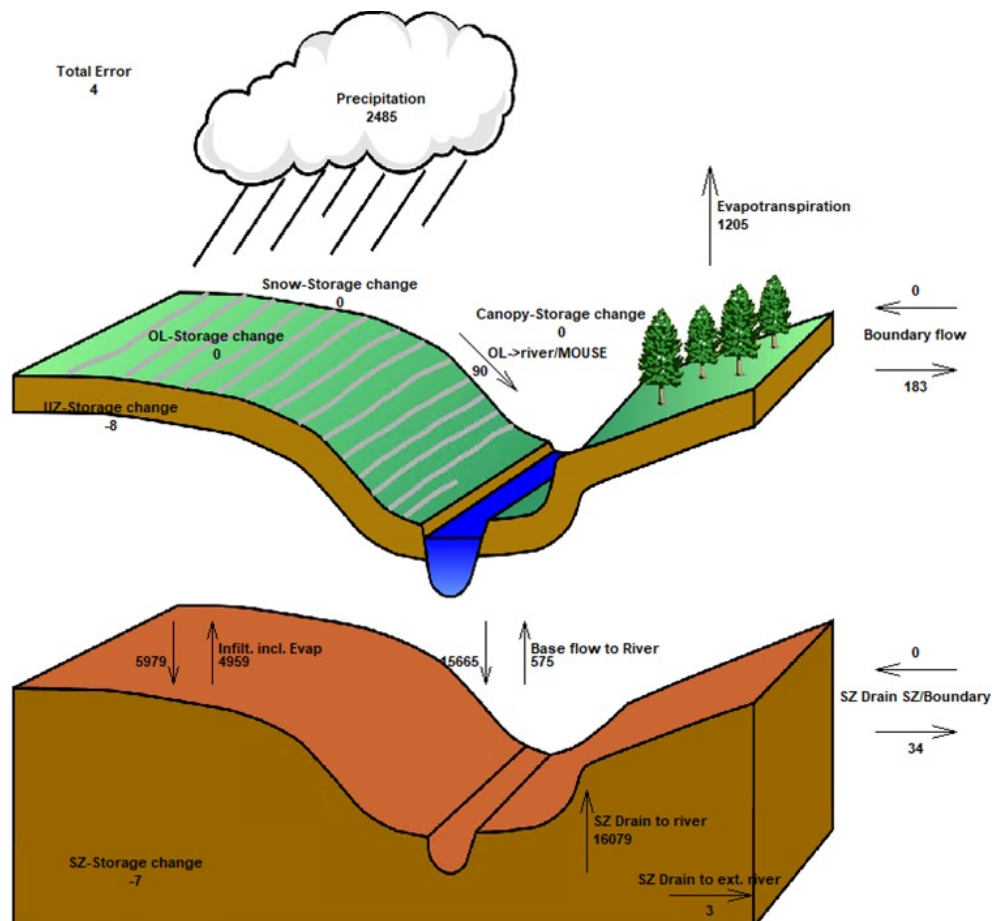
dimana merupakan data observasi ke- i , merupakan data simulasi ke- i , merupakan data observasi rata-rata dan n merupakan jumlah observasi. Rentang nilai NSE terletak antara $-\infty$ sampai 1, dengan NSE = 1 merupakan nilai optimal. Nilai antara 0,0 sampai 1,0 secara umum dilihat sebagai level performa model yang dapat diterima, sedangkan $NSE \leq 0,0$ mengindikasikan bahwa rata-rata nilai data observasi merupakan alat prediksi yang lebih baik daripada nilai data simulasi. Motovilov *et al.* (1999) menyebutkan bahwa performa model, dengan menggunakan data harian untuk proses kalibrasi, secara umum dianggap memuaskan jika nilai $NSE > 0,36$.

4.4 Hasil Kalibrasi Model

Analisis neraca air total merupakan bagian dari proses kalibrasi model di mana analisis ini memberikan pemahaman menyeluruh pada setiap komponen hidrologi dan dilakukan untuk memonitor performa

model (DHI, 2017; DHI 2021). Neraca air menunjukkan nilai eksak dari setiap komponen pada siklus hidrologi pada suatu KHG. Ketidaksesuaian ataupun kejanggalan yang terjadi pada model dapat secara mudah terlihat pada neraca air.

Gambar 19 | Skema Neraca Air

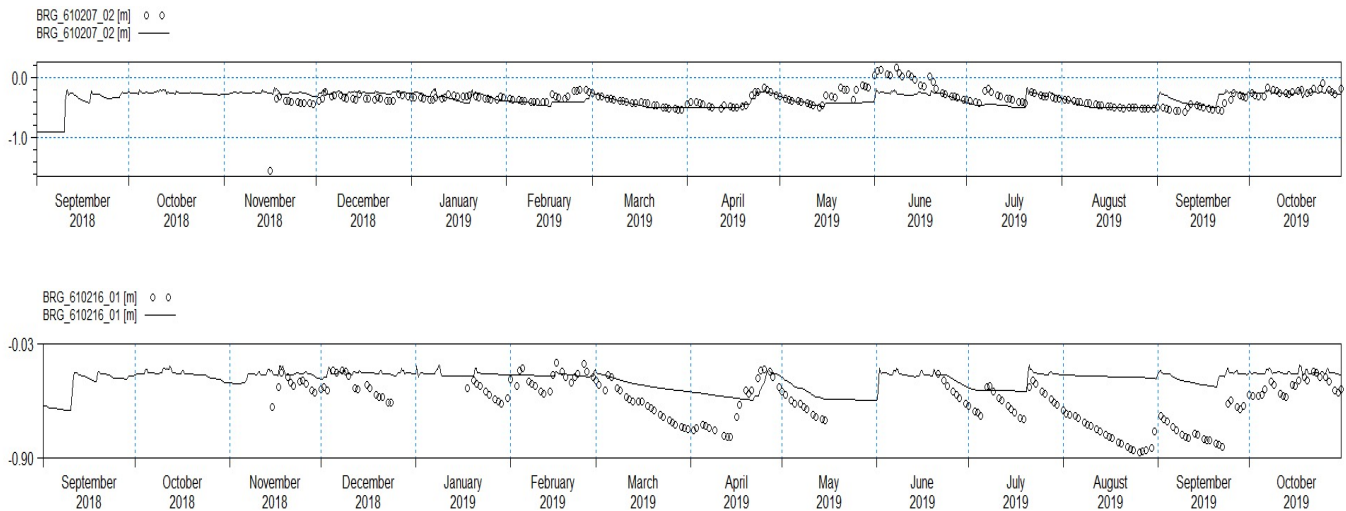


Sumber: Hasil Studi WRI Indonesia dan DHI

Performa model diketahui dengan menganalisis tiap nilai komponen hidrologis pada neraca air yang dihasilkan oleh model. Apabila nilai komponen pada neraca air belum baik dan kesalahan (*error*) yang didapatkan pada neraca air besar, maka dilakukan pengoperasian (*running*) ulang model

dengan menyesuaikan parameter kalibrasi sehingga mendapatkan nilai yang baik. Iterasi atau pengulangan dalam melakukan pengoperasian model tersebut dilakukan dengan mempertimbangkan parameter-parameter sensitif pada model yang dinamakan dengan analisis sensitivitas. Contoh hasil kalibrasi model pada setiap KHG dapat dilihat pada Lampiran 10-22.

Gambar 20 | Tinggi Muka Air Hasil Kalibrasi Model, (A) setelah terkalibrasi, (B) sebelum terkalibrasi



Dapat kita lihat pada plot grafik (A) di atas bahwa data yang diprediksi memiliki kecenderungan yang baik dan hampir sama jika dibandingkan dengan data yang diamati. Di sisi lain, plot grafik (B) menunjukkan bahwa kumpulan data yang diprediksi mungkin tidak tepat dan memerlukan pemodelan ulang atau tindakan penyesuaian pada parameter tertentu. Hasil proses kalibrasi dalam studi ini dapat dilihat pada Tabel 7. Secara umum, baik nilai R^2 maupun NSE (lihat Subbab 4.3 Metode Kalibrasi dan Validasi Model) berada pada kisaran yang dapat diterima. Hal ini menunjukkan model ini dapat digunakan untuk proses selanjutnya, yaitu simulasi/implementasi model.

Tabel 7 | Hasil proses kalibrasi (nilai R^2 dan NSE) untuk setiap lokasi

Lokasi	Jumlah stasiun SIPALAGA	Nilai terendah		Nilai tertinggi	
		R^2	NSE	R^2	NSE
Burnai-Sibumbang (BS)	4	0,62	0,34	0,82	0,48
Kahayan-Sebangau (KS)	5	0,84	0,51	0,97	0,82
Kapuas-Barito (KB)	1	0,71	0,38	0,71	0,38

5. IMPLEMENTASI MODEL

Model hidrologi disusun untuk setiap KHG yang masing-masing memiliki jumlah infrastruktur pembasahan serta karakteristik kanal yang berbeda.

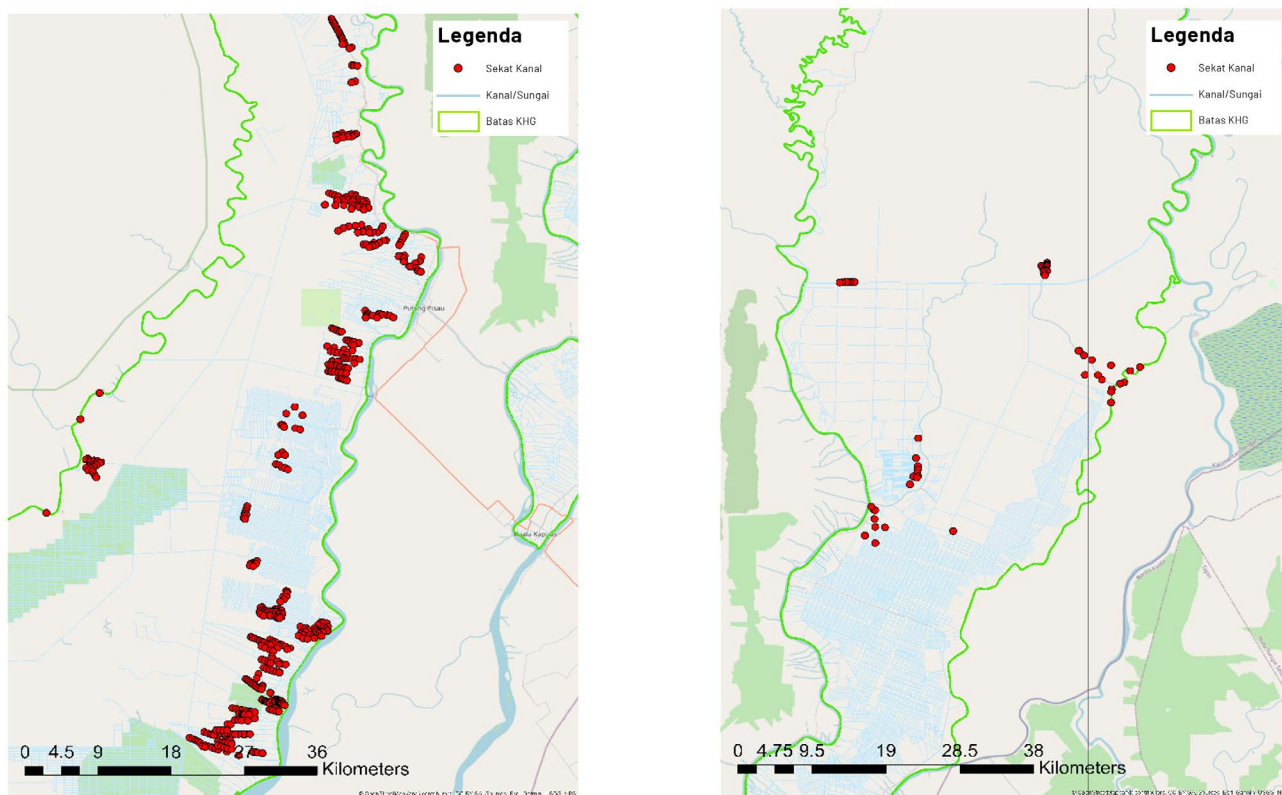
Simulasi dilakukan pada kondisi sesungguhnya (*baseline*) atau dengan implementasi IPG, dan kondisi tanpa implementasi IPG (skenario). Tinggi muka air tanah hasil *baseline* dengan infrastruktur pembasahan gambut akan dibandingkan dengan tinggi muka air tanah skenario tanpa implementasi. Infrastruktur pembasahan gambut berupa kanal timbun yang disimulasikan dalam tulisan ini berjumlah 141 struktur yang hanya terdapat di KHG Kapuas-Barito. Jumlah IPG berupa sekat kanal yang disimulasikan pada masing-masing KHG dapat dilihat pada Tabel 8. Pengoperasian model dilakukan untuk setiap musim (sepanjang tahun) agar dapat merepresentasikan musim penghujan dan musim kemarau.

Tabel 8 | Jumlah sekat kanal yang disimulasikan dalam model pada setiap KHG

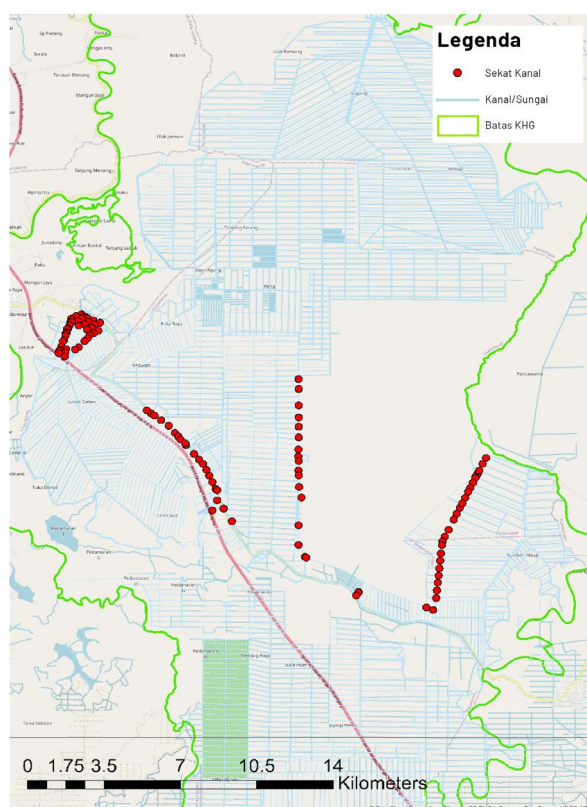
No	KHG	Implementasi Sekat Kanal			
		2017	2018	2019	Total
1	Burnai-Sibumbang	0	70	47	117
2	Kahayan-Sebangau	572	686	0	1258
3	Kapuas-Barito	44	20	5	69
Total					1.444

Sekat kanal yang diimplementasikan ke dalam model diasumsikan sebagai sekat kanal yang berfungsi dengan baik dan ideal, mengingat keterbatasan sumber daya dan data yang tersedia. Jika terdapat informasi kondisi aktual di lapangan, maka hal tersebut lebih dianjurkan untuk dimasukkan ke dalam model. Sebaran kanal pada tiap KHG diilustrasikan oleh Gambar 21 dan 22.

Gambar 21 | Sebaran Sekat Implementasi Sekat Kanal pada KHG Kahayan–Sebangau (kiri) dan KHG Kapuas–Barito (kanan)



Gambar 22 | Sebaran Sekat Implementasi Sekat Kanal pada KHG Burnai–Sibumbang (B)



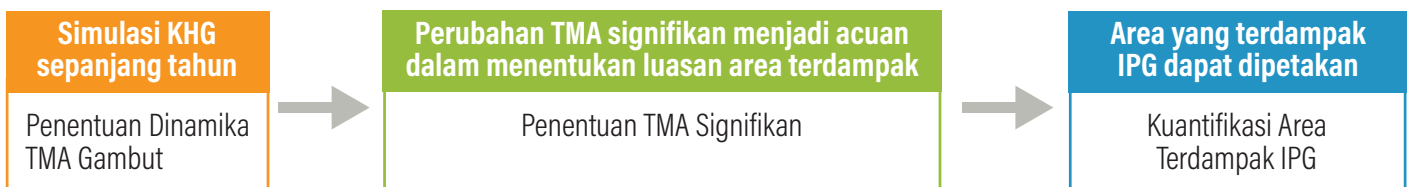
6. HASIL PEMODELAN DAMPAK RESTORASI GAMBUT

6.1 Cara Pembacaan Hasil Model

Model hidrologi umumnya dapat memberikan hasil berupa peta dua dimensi yang menggambarkan kondisi muka air pada suatu waktu tertentu. Hal ini sangat membantu pengguna untuk menganalisis hasil model. Dalam studi dampak implementasi

pembasahan gambut, sebaran air tanah dan tinggi muka air merupakan komponen yang penting untuk diamati dalam menentukan performa pembangunan infrastruktur pembasahan gambut. Hasil pemodelan hidrologi gambut bermanfaat bagi pemangku kepentingan yang berwenang dalam merencanakan infrastruktur pembasahan gambut yang akan dibangun, dengan simulasi pendahuluan menggunakan MIKE SHE dan MIKE Hydro River (Lihat Bab 7. Limitasi Model). Adapun langkah di bawah (Gambar 23) menunjukkan proses identifikasi hasil model dampak restorasi gambut:

Gambar 23 | Proses Identifikasi Hasil Pemodelan Hidrologi Gambut



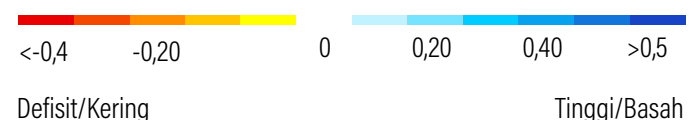
Sebagaimana dijelaskan sebelumnya, bahwa hasil simulasi model pada studi ini adalah tinggi muka air (TMA) pada KHG yang dikaji. TMA ini mengacu pada tinggi muka air tanah relatif terhadap permukaan tanah gambut, sebagai contoh:

1. Apabila nilai TMA bernilai positif, maka muka air pada lokasi tersebut berada di atas permukaan tanah gambut (elevasi permukaan tanah gambut = 0)
2. Apabila nilai TMA bernilai negatif, maka muka air pada lokasi tersebut berada di bawah permukaan tanah gambut (elevasi permukaan tanah gambut = 0)

Nilai selisih atau perubahan tinggi muka air yang signifikan yang digunakan adalah 2 sentimeter. Asumsi ini mengacu pada batas tinggi muka air tanah gambut maksimal yang tercantum pada regulasi di Indonesia yaitu 5 persen dari batas maksimal (40 sentimeter di bawah permukaan tanah) (Sumber: PP No.71/2014 tentang Perlindungan dan Pengelolaan Ekosistem Gambut). Sebagai informasi tambahan, dalam studi ini juga digunakan pengaruh pembasahan dengan perubahan tinggi muka air signifikan sebesar 5 sentimeter.

Area terdampak, yang merupakan perbandingan tinggi muka air dengan dan tanpa implementasi IPG pada skenario pemodelan, dapat dilihat pada Gambar 25 dan 27 dengan tampilan grafik perbandingan TMA *baseline* dan skenario pada Gambar 26 dan 28. Pada PRIMIS, area terdampak tersebut dapat dijumpai di menu “Hidrologi” dan baris “Pemodelan Hidrologi – *Difference*”. Selisih muka air kondisi *baseline* dan skenario dalam bentuk raster memberikan informasi perbedaan muka air akibat adanya IPG pada KHG yang dimaksud.

Gambar 24 | Indikator selisih muka air tanah kondisi *baseline* dengan skenario



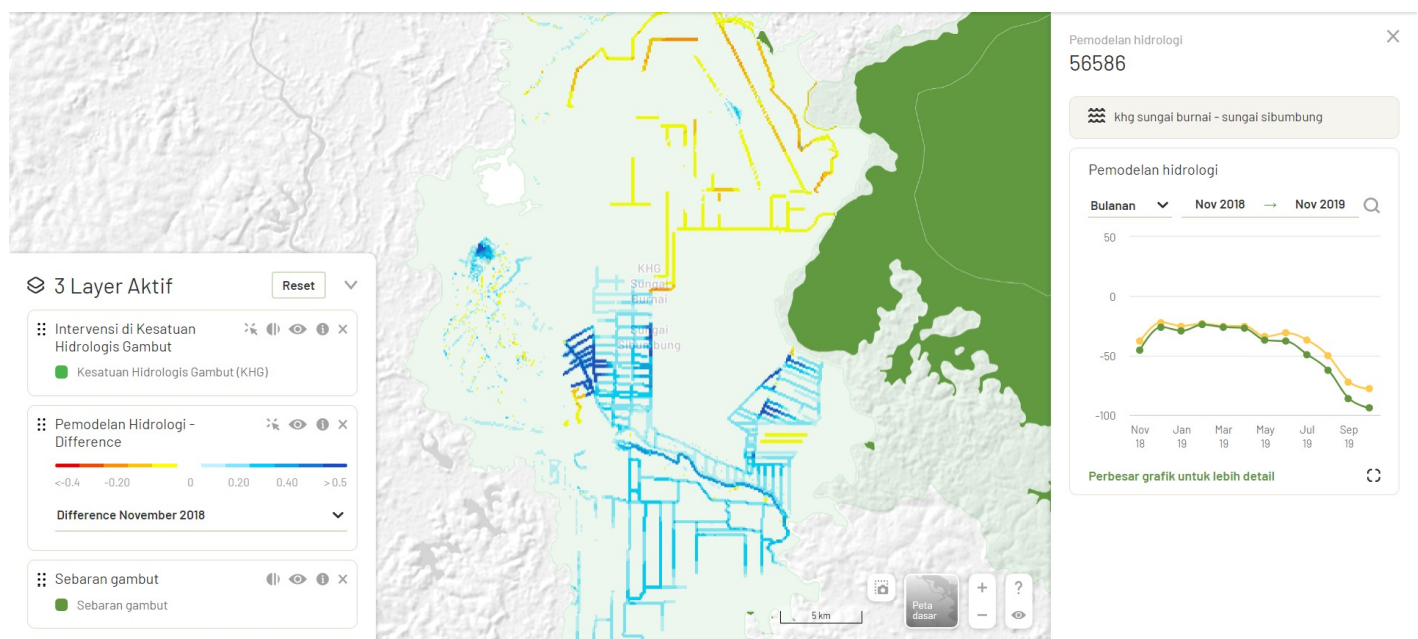
6.2 Contoh Hasil Pemodelan Dampak Restorasi yang Diintegrasikan ke Dalam PRIMS

Umumnya hasil pemodelan hidrologi berbentuk suatu raster dengan indikator warna tertentu. Perbedaan warna pada raster mengindikasikan perbedaan nilai tinggi muka air pada piksel yang dimaksud sehingga kumpulan piksel membentuk suatu peta yang menggambarkan selisih muka air. Pada studi ini hasil pemodelan diintegrasikan ke dalam pranata berbasis daring (PRIMS). Indikator warna yang digunakan adalah gradasi merah hingga biru. Semakin biru warnanya maka dampak pembasahan semakin tinggi atau kenaikan muka air akibat adanya IPG semakin

besar. Sebagai contoh, nilai perbedaan 0,4 meter menunjukkan bahwa selisih muka air antara skenario dengan dan tanpa implementasi IPG sebesar 0,4 meter, atau dengan kata lain adanya implementasi IPG dapat meningkatkan tinggi muka air lahan gambut sebesar 40 sentimeter.

Begitu juga sebaliknya, jika warna biru semakin pudar maka kenaikan muka air semakin kecil. Warna merah menunjukkan dampak buruk akibat adanya IPG karena nilai kenaikan muka air negatif (TMA turun setelah adanya IPG). Kasus seperti ini dapat dijumpai jika IPG hanya diimplementasikan di wilayah hulu (elevasi lebih tinggi), sehingga TMA di bagian hilir (elevasi lebih rendah) dapat menurun setelah dilakukan implementasi IPG (Gambar 25).

Gambar 25 | Tampilan area terdampak pada platform PRIMS di KHG Burnai-Sibumbang

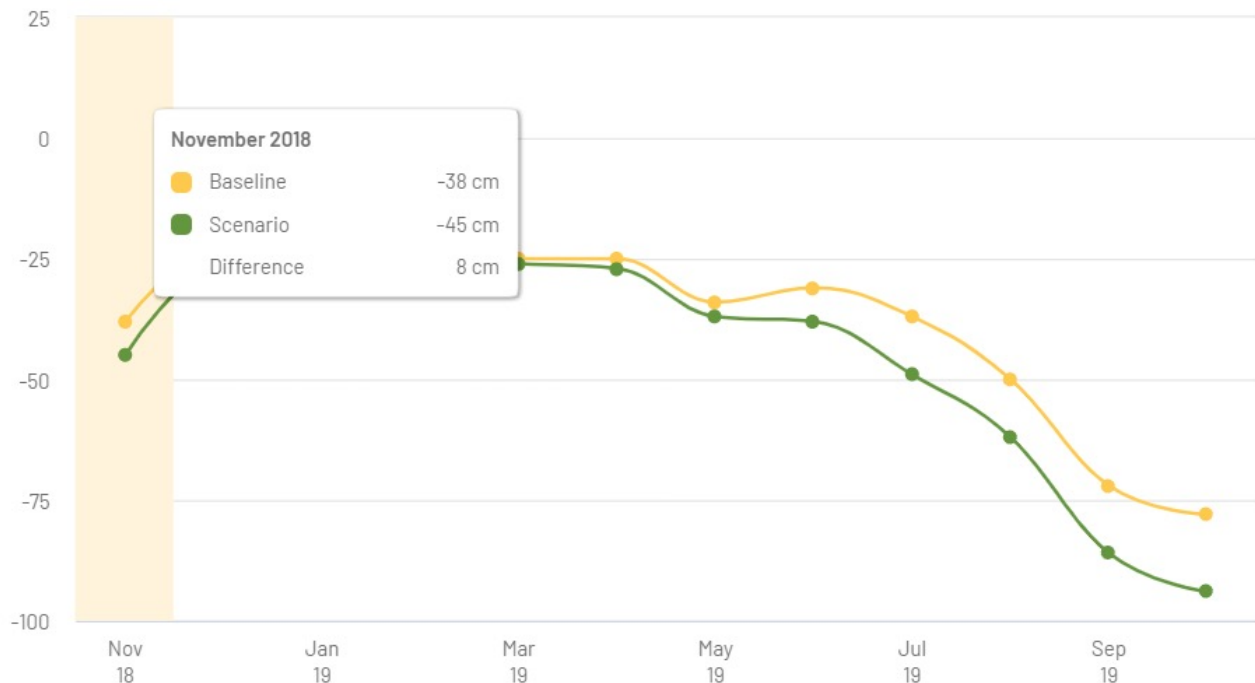


Sumbu X yang terdapat pada grafik (Gambar 26 dan 28) menunjukkan rentang waktu/periode dilakukannya simulasi *baseline* dan skenario. Sumbu Y menunjukkan TMA dengan satuan sentimeter (cm) dari permukaan tanah gambut. Angka -50 sentimeter menunjukkan bahwa TMA berada 50 sentimeter di bawah permukaan tanah gambut, sedangkan angka 50 sentimeter menunjukkan bahwa TMA berada 50 sentimeter di atas permukaan tanah gambut (terendam/banjir).

Grafik ini merepresentasikan satu titik (piksel) ketika pengguna mengeklik satu titik pada warna tertentu di *layer* “Pemodelan Hidrologi – Difference” pada PRIMS. Ketika kita mengeklik “Perbesar grafik untuk lebih detail”, maka akan muncul grafik dengan tampilan yang lebih besar dengan menampilkan data TMA *baseline* (warna kuning) dan skenario (warna hijau), serta keterangan selisih (*difference*) TMA antara *baseline* dengan skenario. Nilai *difference* sebesar 8 sentimeter menunjukkan bahwa TMA berubah sebesar 8 sentimeter setelah adanya implementasi IPG.

Gambar 26 | Tampilan grafik perbandingan TMA baseline dan skenario implementasi IPG di KHG Burnai-Sibumbang

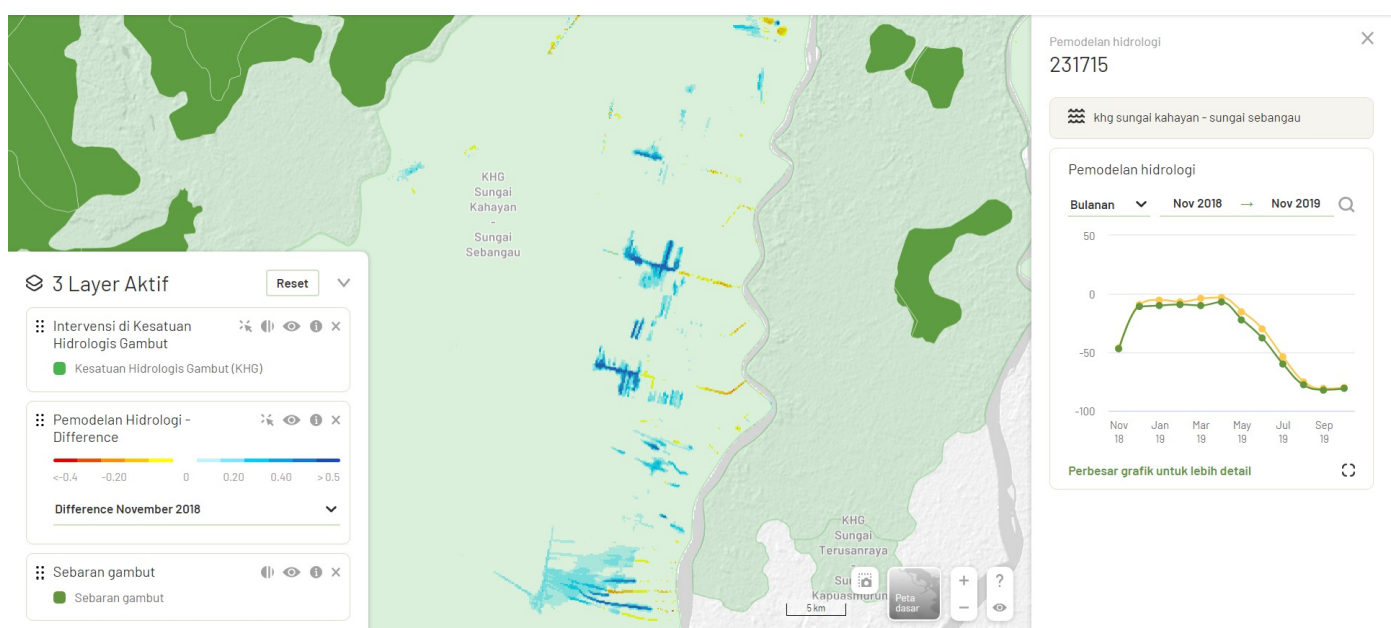
Pemodelan hidrologi



Contoh lainnya, selisih kenaikan muka air bulanan pada KHG Kahayan-Sebangau ditandai oleh peta selisih muka air yang diilustrasikan oleh Gambar 27. Warna biru menandakan nilai selisih muka air 0,05–0,5 meter, warna putih menandakan selisih muka air -0,05–0,05 meter, warna kuning menandakan selisih muka air -0,10–0,05 meter dan warna merah menandakan

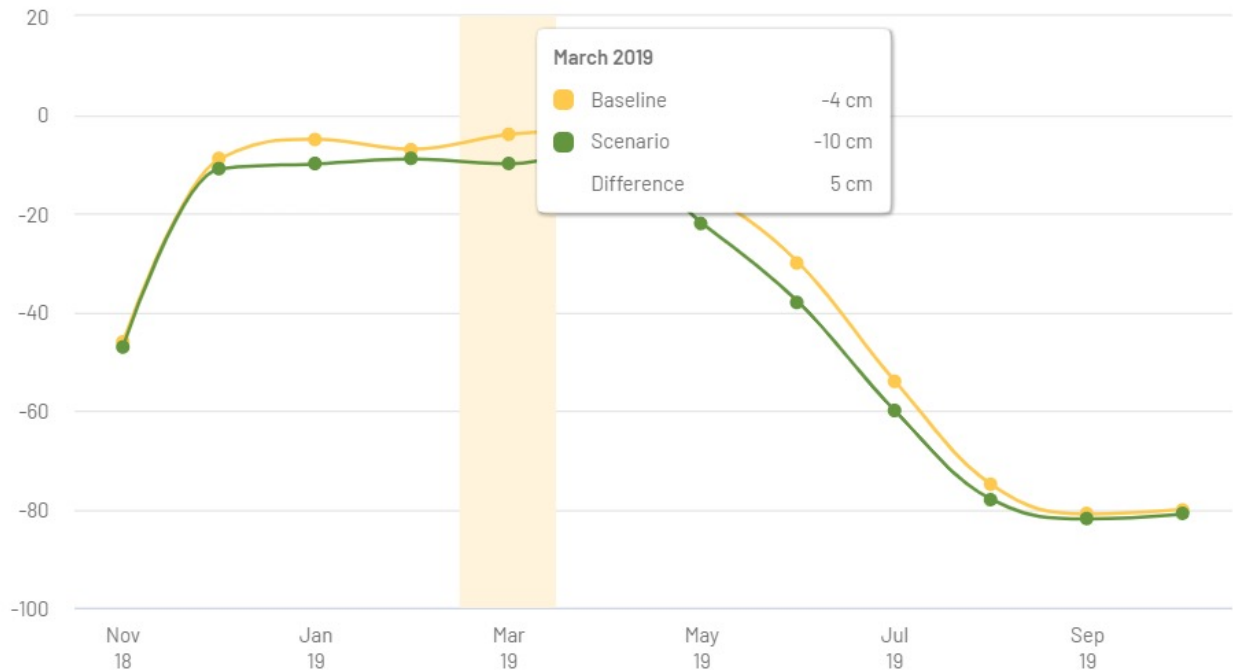
selisih muka air -0,20–0,4 meter. Semakin besar selisih muka air yang dihasilkan, maka tinggi muka air akan semakin dekat dengan permukaan lahan gambut. Hal ini akan memudahkan air untuk bergerak menuju zona tak jenuh (lapisan tanah gambut dengan kondisi pori-pori tanah tidak terisi air) melalui pergerakan kapiler, sehingga tanah gambut akan semakin lembap.

Gambar 27 | Tampilan area terdampak pada PRIMs di KHG Kahayan-Sebangau



Gambar 28 | Tampilan grafik perbandingan TMA *baseline* dan skenario implementasi IPG di KHG Kahayan-Sebangau

Pemodelan hidrologi



7. LIMITASI MODEL

Setiap studi memiliki keterbatasan karena ketersediaan data maupun faktor lain yang dapat mempengaruhi temuan dalam studi tersebut. Limitasi atau keterbatasan dalam suatu kajian perlu disampaikan agar pembaca tahu akan batasan ini dan untuk menjelaskan bagaimana limitasi tersebut memengaruhi kesimpulan yang dapat diambil dari penelitian. Batasan dalam kajian ini antara lain:

- Data LiDAR hanya tersedia untuk satu dari tiga unit hidrologi gambut yang digunakan dalam studi ini;
- Data detail geometri kanal diprediksi menggunakan analisis data LiDAR/WorldDEM. Data kedalaman kanal merupakan nilai asumsi berdasarkan data sekunder karena tidak dapat diprediksi dengan menggunakan analisis penginderaan jauh;
- Sifat fisik tanah gambut (misalnya, konduktivitas hidrolik dan bobot isi tanah) dihasilkan dari pengukuran observasi pada skala tapak. Sedangkan studi ini dalam skala lanskap dan untuk memenuhi kebutuhan data, digunakan juga data sekunder;
- Infrastruktur pembasahan (sekat kanal dan kanal timbun) yang dibangun oleh swasta dan pemangku

kepentingan lainnya tidak termasuk dalam kajian. Simulasi hanya mencakup implementasi sekat kanal dan kanal timbun milik BRG;

- Ekstraksi data dari hasil model dibatasi oleh akurasi model (*grid dan timesteps*);
- Dikarenakan informasi kondisi aktual IPG yang terbatas, hasil simulasi model belum mencerminkan kondisi aktual di lapangan dan geometri merupakan nilai asumsi berdasarkan data-data sekunder;
- Limitasi data lapangan, terutama data tinggi muka air untuk proses kalibrasi untuk KHG Kapuas-Barito yang hanya tersedia satu stasiun SIPALAGA.
- Model ini hanya mensimulasikan respons hidrologi pada KHG tertentu (KHG Burnai–Sibumbang, KHG Kahayan–Sebangau dan KHG Kapuas–Barito) dan pada periode yang terbatas (lihat tabel 6).
- Model ini mensimulasikan infrastruktur pembasahan gambut (IPG) yang diimplementasikan oleh BRG, meskipun demikian apabila suatu model telah terkalibrasi dan tervalidasi, *assessment* lebih lanjut untuk perencanaan IPG dapat dilakukan dengan *re-running* model dengan parameter yang diinginkan.

REFERENSI

- Agus, F. dan I.G. M. Subiksa., 2008, Lahan Gambut: Potensi untuk Pertanian dan Aspek Lingkungan, Balai Penelitian Tanah dan World Agroforestry Centre (ICRAF), Bogor, Indonesia.
- Agus, F., Anda, M., Jamil, A., dan Masganti, 2016, Lahan Gambut Indonesia: Pembentukan, Karakteristik, dan Potensi Mendukung Ketahanan Pangan (Ed. Revisi), IAARD Press, Badan Penelitian dan Pengembangan Pertanian, Jakarta, Indonesia.
- Allen, Richard G., Pereira, Luis S., Raes, D., and Smith, Martin, 1998, *Crop evapotranspiration – Guidelines for computing crop water requirements – FAO Irrigation and drainage paper 56*, FAO (Food and Agriculture Organization of the United Nations), Roma, Italia.
- Badan Restorasi Gambut (BRG), 2018, Laporan Kinerja BRG Tahun 2018, BRG, Jakarta, Indonesia.
- Badan Restorasi Gambut (BRG), 2019, Laporan Kinerja BRG Tahun 2019, BRG, Jakarta, Indonesia.
- Badan Restorasi Gambut (BRG), 2018, Profil Desa Peduli Gambut: Desa Mantangai Hulu, Kecamatan Mantangai, Kabupaten Kapuas, Provinsi Kalimantan Tengah, BRG, Jakarta, Indonesia.
- Badan Meteorologi Klimatologi dan Geofisika (BMKG), Data Online BMKG. <https://dataonline.bmkg.go.id/home>
- Chow, V.T., 1959, *Open-channel hydraulics*, McGraw-Hill, New York, h. 680.
- Center for International Forestry Research (CIFOR), 2017, *Why peatlands matter*, <https://doi.org/10.17528/cifor/006453>.
- Craft, C., 2016, *Creating and Restoring Wetlands*, Elsevier, ISBN 9780124072329, <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-407232-9.04001-X>.
- Danish Hydrological Institute (DHI), 2017, *MIKE SHE Reference Manual for Water Movement*, Danish Hydrological Institute, Hørsholm, Denmark.
- Danish Hydrological Institute (DHI), 2021, *Peatland Restoration Implementation Impact on The Peatland Water Table, Technical Note: Data, Model Setup and Results*, Jakarta, Indonesia.
- Elvince, R., Joni, H., Yuanita, I., dan Sosilawaty, 2021, The Peat Ecosystem Recovery Program for Community Prosperity in Mantangai Tengah Village, PengabdianMu: Jurnal Ilmiah Pengabdian kepada Masyarakat, Vol. 6 No. 5, August 2021, pp. 455-460.
- FAO calculator, Diakses secara online melalui <http://www.fao.org/land-water/databases-and-software/etocalculator/en/>.
- Germann, P.F., 1990, *Macropores and hydrologic hillslope processes*. In: Anderson, M.G., Burt, T.P. (Eds.), *Processes Studies in Hillslope Hydrology*. Wiley, London, UK, pp. 327-364.
- Glauber, Ann Jeannette; Moyer, Sarah; Adriani, Magda; Gunawan, Iwan, 2016, The Cost of Fire : An Economic Analysis of Indonesia's 2015 Fire Crisis. Indonesia Sustainable Landscapes Knowledge Note No. 1. World Bank, Jakarta. © World Bank. <https://openknowledge.worldbank.org/handle/10986/23840> License: CC BY 3.0 IGO.
- Heppell, C.M., Burt, T.P., & Williams, R.J. 2000. *Variations in the hydrology of an underdrained clay hillslope*. *Journal of Hydrology*, 227, 236-256
- Hergoualc'h, K., Atmadja, S., Carmenta, R.; Martius, C., Murdiyarso, D., Purnomo, H., 2018, *Managing peatlands in Indonesia: Challenges and opportunities for local and global communities*, Center for International Forestry Research (CIFOR).
- Kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan (KLHK) Republik Indonesia, Dampak Krisis Kebakaran 2015 Terhadap Deforestasi di Indonesia, Direktorat Inventarisasi dan Pemantauan Sumber Daya Hutan, Direktorat Jenderal Planologi Kehutanan dan Tata Lingkungan, Jakarta, Indonesia.
- Kristensen, K.J., Jensen, S.E., 1975, *A model for estimating actual evapotranspiration from potential evapotranspiration*, *Nordic Hydrology*, pp. 6, 170-188.
- Miettinen, J., Shi, Chenghua, and Liew, Soo Chin, 2016, *Land cover distribution in the peatlands of Peninsular Malaysia, Sumatra and Borneo in 2015 with changes since 1990*, *Global Ecology and Conservation*, pp. 6, 67 – 78. <https://doi.org/10.1016/j.gecco.2016.02.004>.
- Monteith, J.L., 1965, *Evaporation and the environment*, *Proceedings of the Symposium of the Society for Experimental Biology*, pp. 19, 205-234.
- Nash, I.E., and Sutcliffe, I.V., 1970, *River flow forecasting through conceptual models*, *Journal of Hydrology*, pp. 10, 282-290.
- Nugroho, Sutopo Purwo, 2016, Penanganan Darurat Asap Akibat Kebakaran Hutan dan Lahan Tahun 2015 pada FGD I Rugi Negara Karena Asap pada 8 Januari 2016 di Hotel Akmani Jakarta, Perkumpulan Skala.
- Peraturan Pemerintah Nomor 57 Tahun 2016 Tentang Perubahan Atas Peraturan Pemerintah Nomor 71 Tahun 2014 Tentang Perlindungan dan Pengelolaan Ekosistem Gambut, Pemerintah Republik Indonesia, Jakarta, Indonesia.
- Ponce, V. M., 1989, *Engineering hydrology: Principles and practices*. Englewood Cliffs, N.J: Prentice Hall.
- Refsgaard, J.C., and Sørensen, H.R., 1997, *Water management of the Gabčíkovo Scheme for balancing the interest of hydropower and environment*. In: Refsgaard, J.C., Karalis, E.A. (Eds.), *Operational Water Management*, Balkema, Rotterdam, The Netherlands, pp. 365-372.
- Refsgaard, J.C., and Storm, B., 1995, *Computer Models of Watershed Hydrology*. In: Singh, V.P., (Ed.), *Water Resources Publications*. Englewood, USA, pp. 809-846.
- RSS (Remote Sensing Solution) GmbH., 2020, *Processing of Lidar data, hazard modelling and capacity building*. Final report phase II, WP 8&9.
- Singh, V.P.; Frevert, D.K., 2002, *Mathematical Models of Large Watershed Hydrology; Water Resources Publication: Littleton, CO, USA*.
- Smettem, K.R.J., Chittleborough, D.J., Richards, B.G., & Leaney, F.W., 1991, *The influence of macropores on runoff generation from a hillslope soil with a contrasting textural class*. *Journal of Hydrology*, pp. 122, 235-252.
- Subiksa, I.G.M, W. Hartatik, dan F. Agus, 2011, Pengelolaan lahan gambut secara berkelanjutan, Hlm.73-88. Dalam Nurida et al. (Eds.). *Pengelolaan Lahan Gambut Berkelanjutan*, Balai Penelitian Tanah, BBSDP, Badan Litbang Pertanian.

Sumarga E, Hein L, Hooijer A, Vernimmen R., 2016, *Hydrological and economic effects of oil palm cultivation in Indonesian peatlands*. Ecology and Society, pp. 21, 52.

Sutikno, Sigit, Nasrul, B., Gunawan, H., Jayadi, R., Rinaldi, Saputra, E., and Yamamoto, K., 2019, *The effectiveness of canal blocking for hydrological restoration in tropical peatland*. MATEC Web Conf. International Conference on Advances in Civil and Environmental Engineering (ICAnCEE 2018), pp. 276. <https://doi.org/10.1051/mateconf/201927606003>

Thomson, J.R., Sørensen, H. R., Gavin, H., and Refsgaard, A., 2004, *Application of the coupled MIKE SHE/MIKE 11 modelling system to a lowland wet grassland in southeast England*, Journal of Hydrology, pp. 293, 157 – 179.

Triatmodjo, B., 2014, Hidrologi Terapan (Ed. Revisi) Cetakan ke-4, Beta Offset, Yogyakarta, Indonesia.

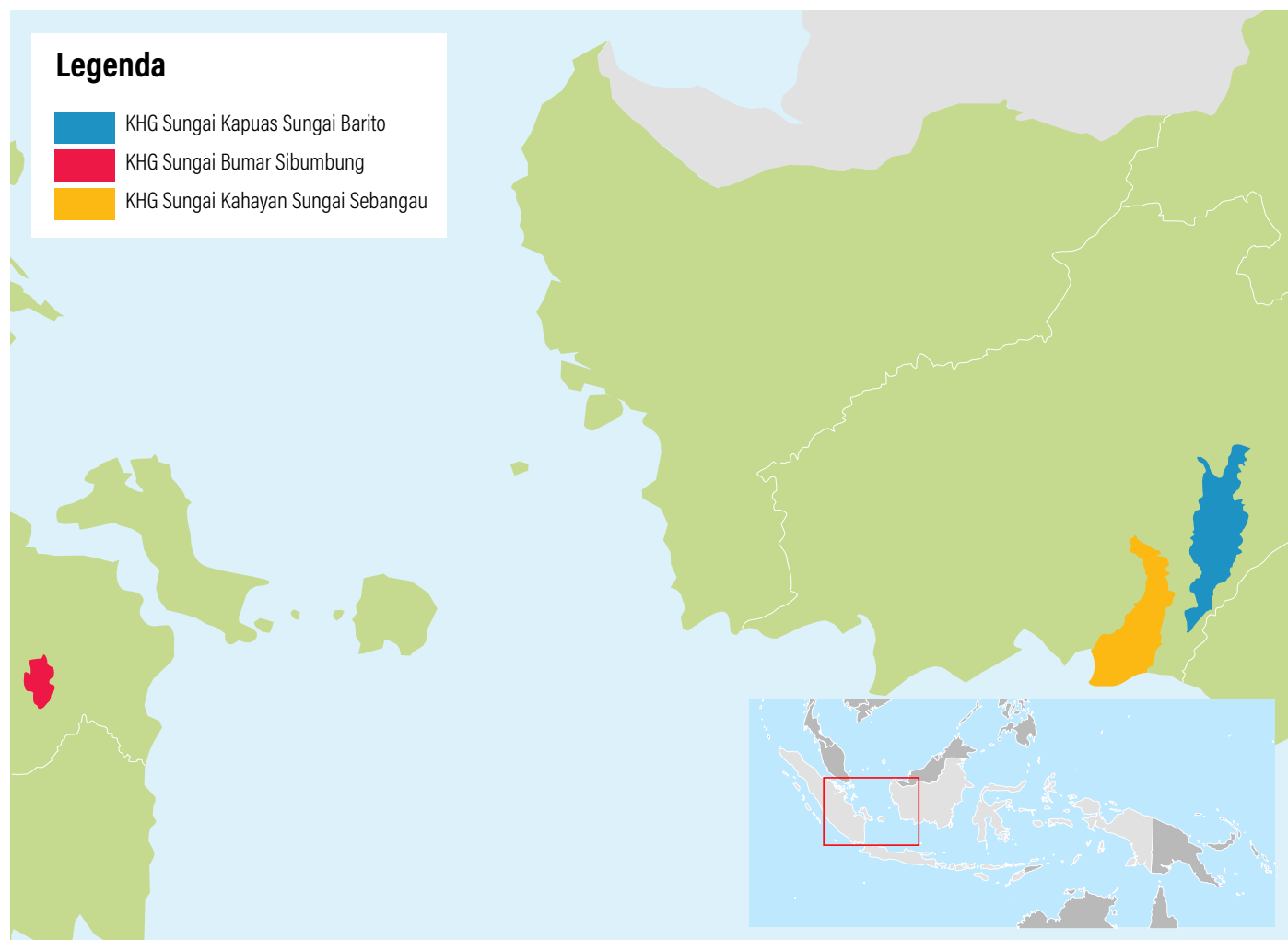
Ward, P.J., Winsemius, H.C., S. Kuzma, Bierkens, M.F.P., Bouwman, A., de Moel, H., Loaiza, A. D., et al., 2020, *Aqueduct Floods Methodology. Technical Note*. Washington, D.C.: World Resources Institute. Diakses secara online melalui <https://www.wri.org/publication/aqueduct-floods-methodology>.

Wetlands International Indonesia, 2008, Seri pengelolaan hutan dan lahan gambut: Tata air untuk pertanian di lahan rawa gambut.

Whitfield, Paul H., St-Hilaire, A., and Van der Kamp, G., 2009, *Improving Hydrological Predictions in Peatlands*. Canadian Water Resources Journal, pp. 34, 467 – 478. <https://doi.org/10.4296/cwrj3404467>

LAMPIRAN

Lampiran 1 | Lokasi Riset Pemodelan Hidrologi Gambut



Lampiran 2 | Nilai konduktivitas hidrolis tanah zona tak jenuh berdasarkan tata guna lahan di KHG Burnai-Sibumbang

Tata Guna Lahan	Kadar Air Tanah pada Kondisi Jenuh	Kadar Air Tanah Kondisi Lapangan	Kadar Air Tanah di Titik Layu	Infiltrasi / Konduktivitas Hidrolis Jenuh
Pertanian	0,85	0,7	0,28	0,0013
Tanah Terbuka	0,57	0,42	0,2	0,00002
Pemukiman	0,57	0,42	0,2	0,00002
Belukar	0,57	0,1	0,42	0,00001
Hutan	0,86	0,66	0,28	0,0008
Perkebunan Sawit	0,86	0,66	0,28	0,0003
Vegetasi Lainnya	0,86	0,66	0,28	0,0008
Sawah	0,85	0,7	0,28	0,0001
Rawa	0,57	0,42	0,2	0,000001
Badan Air	0,57	0,42	0,2	0,000001

Lampiran 3 | Nilai konduktivitas hidrolik tanah zona tak jenuh berdasarkan tata guna lahan di KHG Kahayan-Sebangau

Tata Guna Lahan	Kadar Air Tanah pada Kondisi Jenuh	Kadar Air Tanah Kondisi Lapangan	Kadar Air Tanah di Titik Layu	Infiltrasi/Konduktivitas Hidrolik Jenuh
Tanah Terbuka	0,57	0,42	0,2	0,00002
Pemukiman	0,57	0,42	0,2	0,00002
Belukar	0,57	0,1	0,42	0,00001
Hutan Lindung	0,86	0,66	0,28	0,0003
Pertanian Lahan Kering	0,85	0,7	0,28	0,0013
Tambak Ikan	0,57	0,42	0,2	0,000001
Hutan Dataran Rendah	0,86	0,66	0,28	0,0008
Hutan Mangrove	0,57	0,42	0,2	0,0002
Vegetasi Lainnya	0,86	0,66	0,28	0,0008
Perkebunan	0,86	0,66	0,28	0,0003
Sawah	0,85	0,7	0,28	0,0001
Belukar	0,57	0,1	0,42	0,00001
Hutan Rawa	0,57	0,42	0,2	0,000001
Badan Air	0,57	0,42	0,2	0,000001

Lampiran 4 | Nilai konduktivitas hidrolik tanah zona tak jenuh berdasarkan tata guna lahan di KHG Kapuas-Barito

Tata Guna Lahan	Kadar Air Tanah pada Kondisi Jenuh	Kadar Air Tanah Kondisi Lapangan	Kadar Air Tanah di Titik Layu	Infiltrasi/Konduktivitas Hidrolik Jenuh
Hutan	0,86	0,66	0,28	0,0008
Sawah	0,85	0,7	0,28	0,00013
Pemukiman	0,1	0,05	0,02	0
Belukar Rawa	0,57	0,42	0,2	0,0002
Belukar Rawa	0,57	0,42	0,2	0,00001
Perkebunan	0,86	0,66	0,28	0,00013
Tanah Terbuka	0,57	0,42	0,2	0,00002
Badan Air	0,57	0,42	0,2	0,000001
Pertanian	0,85	0,7	0,28	0,00013

Lampiran 5 | Representasi unit geologi di KHG Burnai-Sibumbang

Tata Guna Lahan	Kode	Konduktivitas Horizontal	Konduktivitas Vertikal	Porositas Drainase (Sy)	Tampungan Spesifik (Ss)
Pertanian	3	0,00007	0,00035	0,15	0,01
Tanah Terbuka	4	0,000002	0,000001	0,15	0,001
Pemukiman	5	0,00004	0,00002	0,15	0,001
Belukar	6	0,0004	0,0002	0,15	0,01
Hutan	7	0,008	0,0008	0,2	0,01
Perkebunan Sawit	8	0,003	0,0015	0,2	0,02
Vegetasi Lainnya	9	0,0004	0,0002	0,15	0,01
Sawah	10	0,0007	0,00035	0,15	0,01
Rawa	11	0,000002	0,000001	0,15	0,001
Badan Air	12	0,00002	0,00001	0,15	0,001

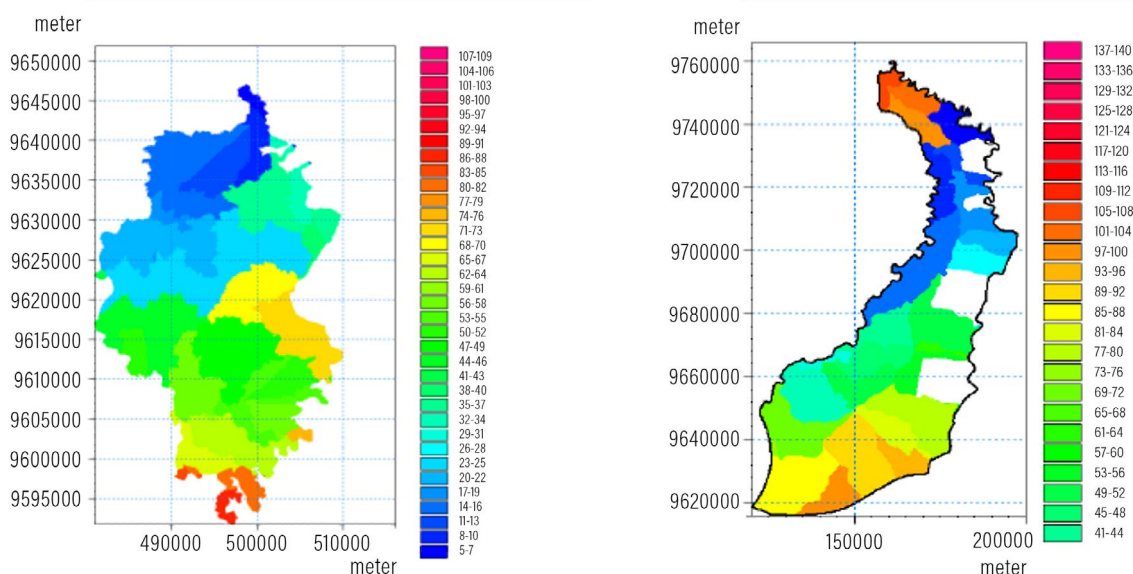
Lampiran 6 | Representasi unit geologi di KHG Kahayan-Sebangau

Tata Guna Lahan	Kode	Konduktivitas Horizontal	Konduktivitas Vertikal	Porositas Drainase (Sy)	Tampungan Spesifik (Ss)
Tanah Terbuka	110	0,000002	0,000001	0,15	0,001
Pemukiman	120	0,00004	0,00002	0,15	0,001
Belukar	130	0,0004	0,0002	0,15	0,01
Hutan Lindung	140	0,003	0,0015	0,2	0,02
Pertanian Lahan Kering	150	0,00007	0,00035	0,15	0,01
Tambak Ikan	160	0,00002	0,00001	0,15	0,001
Hutan Dataran Rendah	170	0,008	0,0008	0,2	0,01
Hutan Mangrove	180	0,000002	0,000001	0,15	0,001
Vegetasi Lainnya	190	0,0004	0,0002	0,15	0,01
Perkebunan	210	0,003	0,0015	0,2	0,02
Sawah	220	0,0007	0,00035	0,15	0,01
Belukar	230	0,0004	0,0002	0,15	0,01
Hutan Rawa	240	0,000002	0,000001	0,15	0,001
Badan Air	250	0,00002	0,00001	0,15	0,001

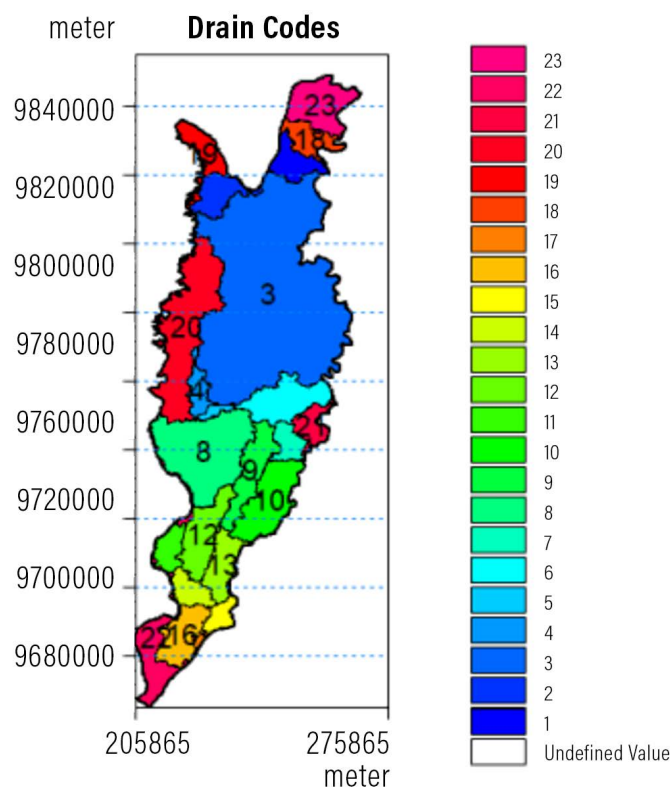
Lampiran 7 | Representasi unit geologi di KHG Kapuas-Barito

Tata Guna Lahan	Kode	Konduktivitas Horizontal	Konduktivitas Vertikal	Porositas Drainase (Sy)	Tampungan Spesifik (Ss)
Hutan	1	0,008	0,0008	0,2	0,01
Sawah	2	0,0007	0,0035	0,15	0,01
Pemukiman	3	0	0	0,0001	0,00001
Belukar Rawa	5	0,000002	0,000001	0,15	0,001
Belukar Rawa	6	0,0004	0,0002	0,15	0,01
Perkebunan	7	0,003	0,0015	0,2	0,02
Tanah Terbuka	8	0,00004	0,00002	0,1	0,001
Badan Air	9	0,0002	0,00001	0,15	0,001
Pertanian	10	0,0007	0,00035	0,15	0,01

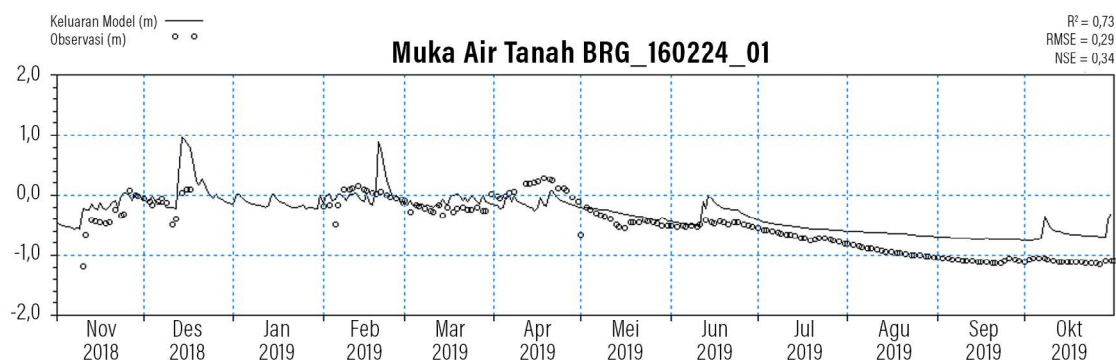
Lampiran 8 | Kode drainase pada KHG Burnai-Sibumbang (kiri) dan KHG Kahayan-Sebangau (kanan)



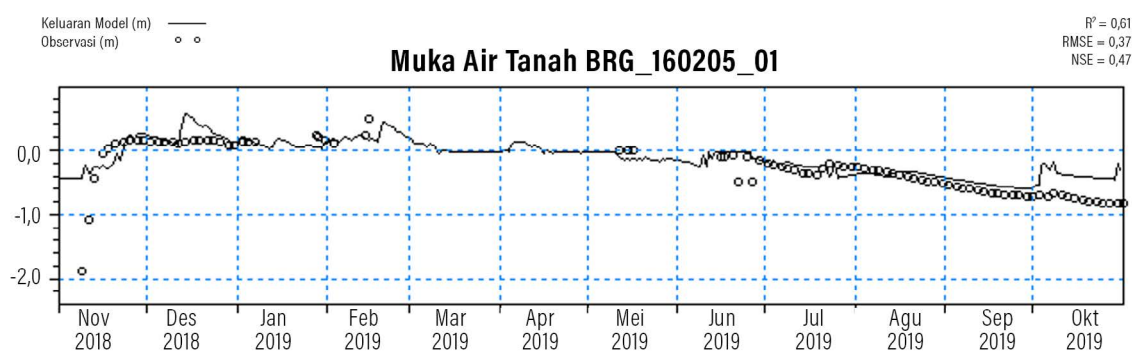
Lampiran 9 | Kode drainase pada KHG Kapuas-Barito



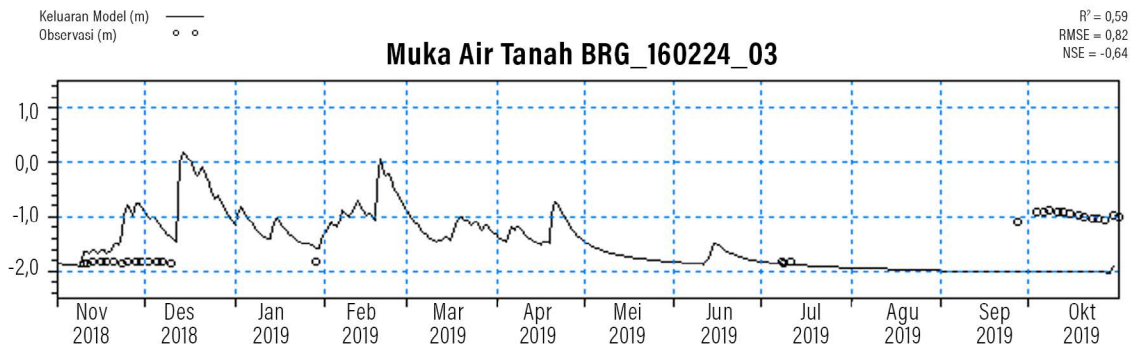
Lampiran 10 | Hasil Tinggi Muka Air Tanah Model dan Pengukuran Lapangan pada Stasiun BRG_160224_01 KHG Burnai-Sibumbang)



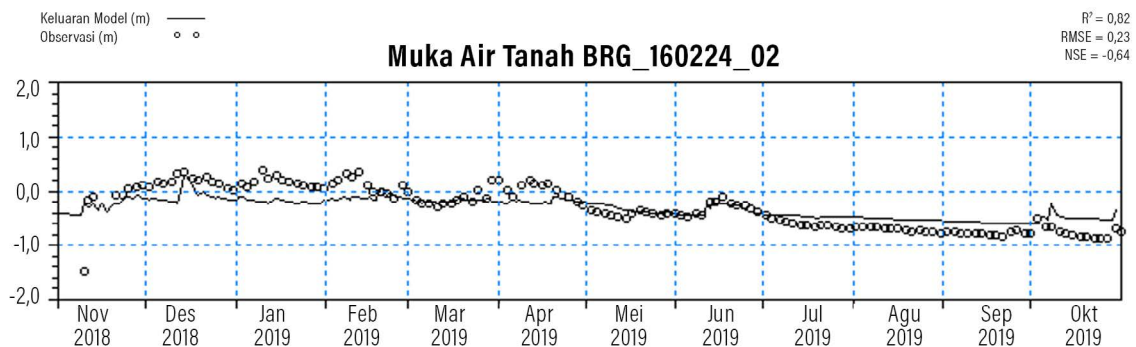
Lampiran 11 | Hasil Tinggi Muka Air Tanah Model dan Pengukuran Lapangan pada Stasiun BRG_160205_01 (KHG Burnai-Sibumbang)



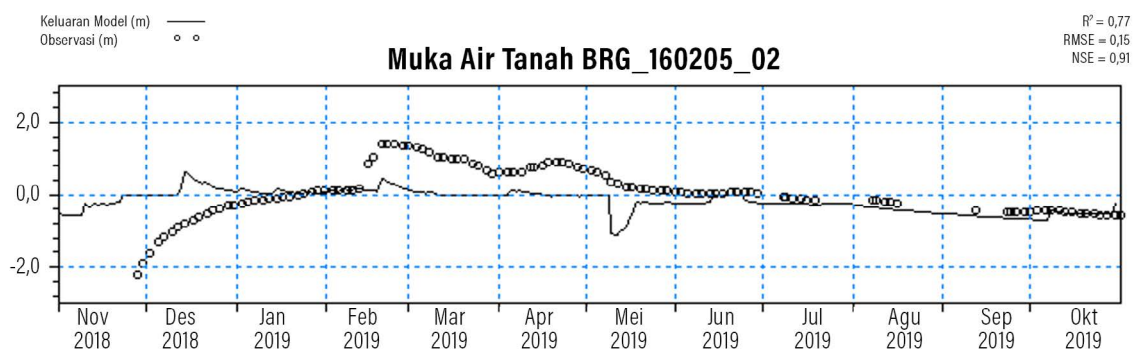
Lampiran 12 | Hasil Tinggi Muka Air Tanah Model dan Pengukuran Lapangan pada Stasiun BRG_160224_03 (KHG Burnai-Sibumbang)



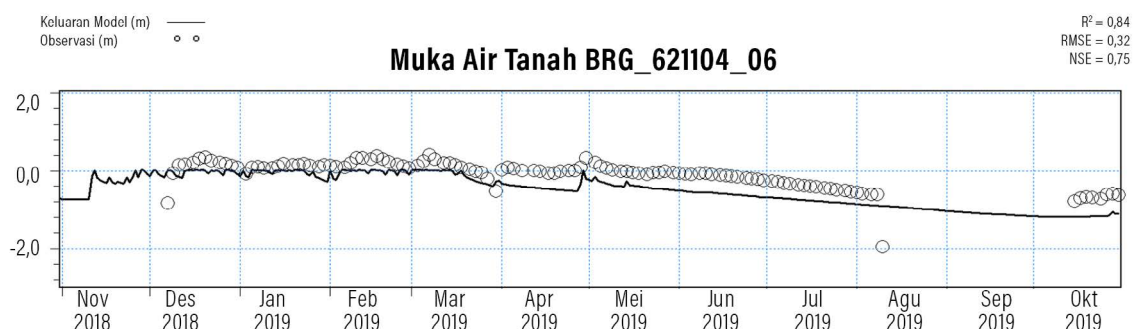
Lampiran 13 | Hasil Tinggi Muka Air Tanah Model dan Pengukuran Lapangan pada Stasiun BRG_160224_02 (KHG Burnai-Sibumbang)



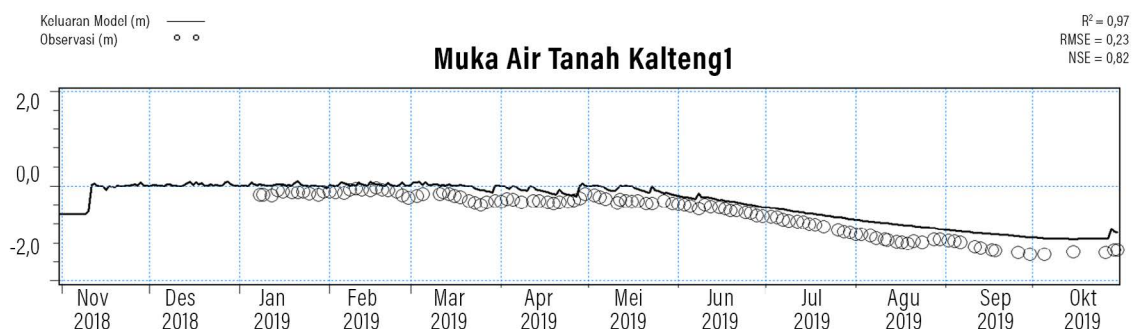
Lampiran 14 | Hasil Tinggi Muka Air Tanah Model dan Pengukuran Lapangan pada Stasiun BRG_160205_02 (KHG Burnai-Sibumbang)



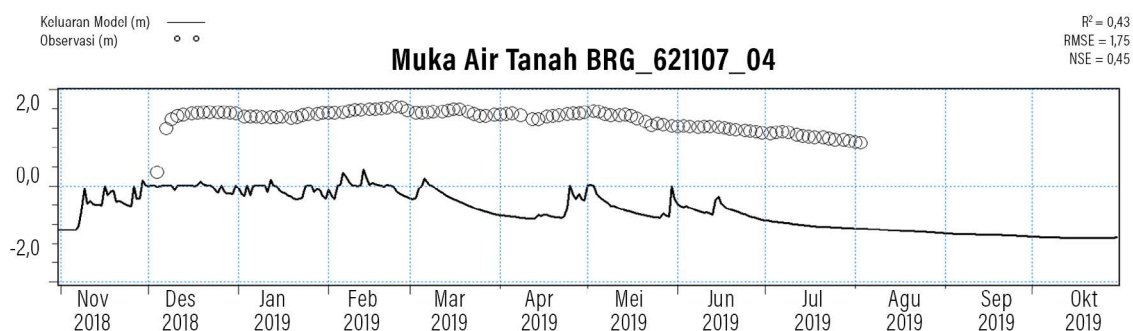
Lampiran 15 | Hasil Tinggi Muka Air Tanah Model dan Pengukuran Lapangan pada Stasiun BRG_621104_06 (KHG Kahayan-Sebangau)



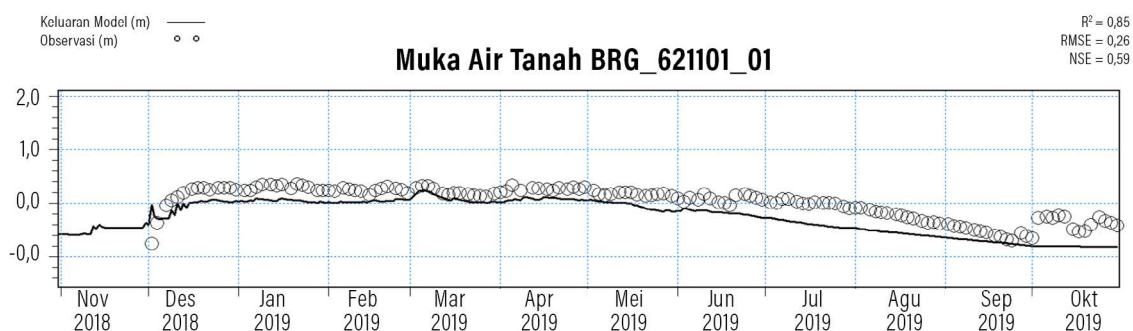
Lampiran 16 | Hasil Tinggi Muka Air Tanah Model dan Pengukuran Lapangan pada Stasiun Kalteng1 (KHG Kahayan-Sebangau)



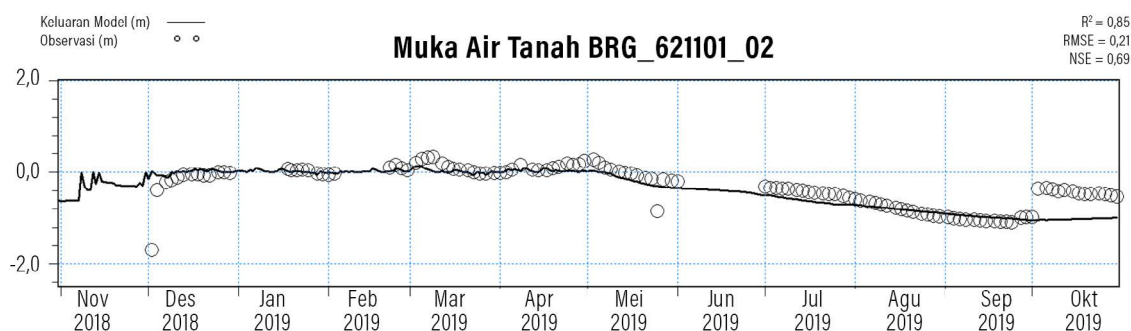
Lampiran 17 | Hasil Tinggi Muka Air Tanah Model dan Pengukuran Lapangan pada Stasiun BRG_621107_04 (KHG Kahayan-Sebangau)



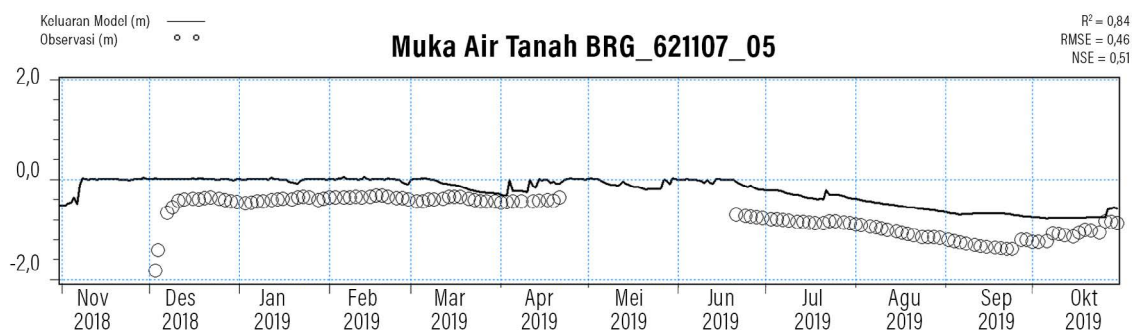
Lampiran 18 | Hasil Tinggi Muka Air Tanah Model dan Pengukuran Lapangan pada Stasiun BRG_621101_01 (KHG Kahayan-Sebangau)



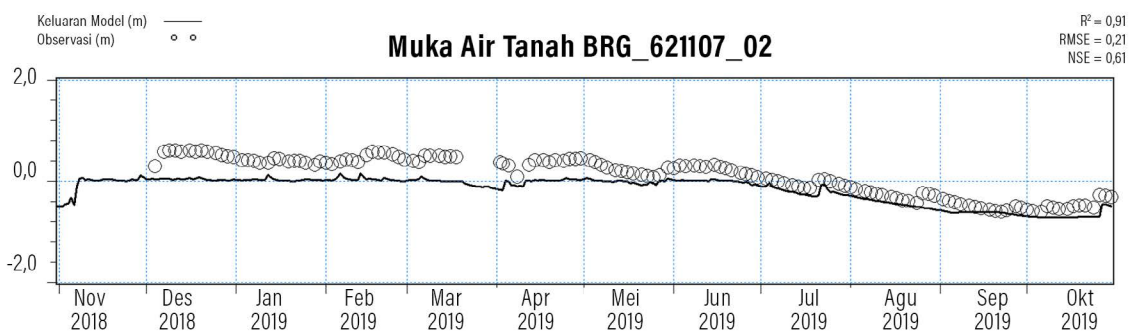
Lampiran 19 | Hasil Tinggi Muka Air Tanah Model dan Pengukuran Lapangan pada Stasiun BRG_621101_02 (KHG Kahayan-Sebangau)



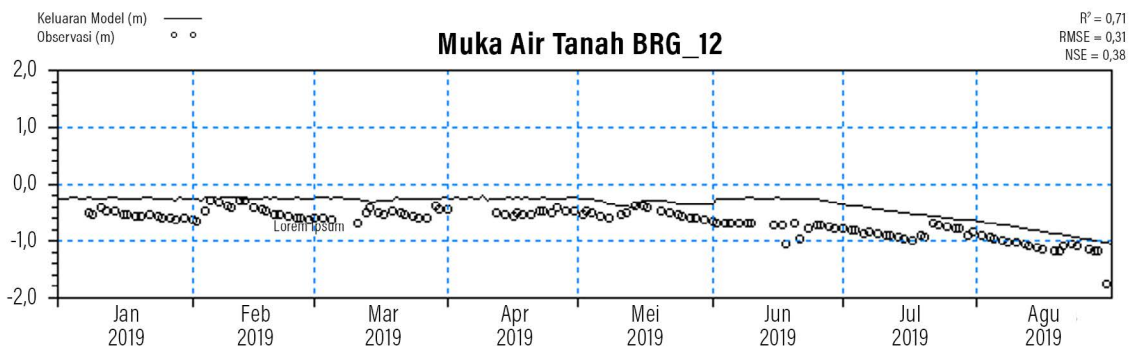
Lampiran 20 | Hasil Tinggi Muka Air Tanah Model dan Pengukuran Lapangan pada Stasiun BRG_621107_05 (KHG Kahayan-Sebangau)



Lampiran 21 | Hasil Tinggi Muka Air Tanah Model dan Pengukuran Lapangan pada Stasiun BRG_621107_02 (KHG Kahayan-Sebangau)



Lampiran 22 | Hasil Tinggi Muka Air Tanah Model dan Pengukuran Lapangan pada Stasiun Brg 12 (KHG Kapuas-Barito)



UCAPAN TERIMA KASIH

Penyusunan *Technical Notes* atau Catatan Teknis "Pengukuran Dampak Aktivitas Pembasahan Kembali Lahan Gambut Menggunakan Pemodelan Hidrologi" ini merupakan bagian dari kegiatan pengembangan pranata Peat Restoration Information and Monitoring System (PRIMS Gambut). Penulis ingin mengucapkan terima kasih sebesar-besarnya kepada Pemerintah Kerajaan Norwegia yang membiayai kegiatan ini melalui *United Nations Office for Project Services* (UNOPS) dan kepada Badan Restorasi Gambut (BRG) yang telah mengizinkan untuk melakukan kajian di wilayah restorasinya. Selain itu, penulis juga menyampaikan apresiasi setinggi-tingginya kepada para penelaah internal; Dr. Eli Nur Nirmala Sari, Dr. Arief Wijaya dan Samantha Kuzma, serta penelaah eksternal; Dr. Budi Satyawan Wardhana, Dr. Adi Jaya dan Riyandi Nuswantoro, atas kesediaannya untuk menelaah tulisan ini agar menjadi lebih baik.

TENTANG PENULIS

Dede Sulaeman, Analis Peneliti di WRI Indonesia.
Kontak: Dede.Sulaeman@wri.org

Ihsan Hafiyyan, sebelumnya bekerja di WRI Indonesia sebagai Asisten Analis Peneliti.

Hidayah Hamzah, Senior Manajer Hutan dan Pemantauan Gambut.
Kontak: hidayah.hamzah@wri.org

TENTANG WRI INDONESIA

WRI Indonesia, didirikan di Indonesia dengan nama Yayasan Institut Sumber Daya Dunia, adalah lembaga kajian independen yang fokus pada pembangunan sosioekonomi nasional secara inklusif dan berkelanjutan. Pekerjaan kami fokus pada enam bidang utama: hutan, iklim, energi, kota dan transportasi, tata kelola, dan laut. Kami mengaktualisasikan gagasan-gagasan besar ke dalam aksi nyata melalui titik temu yang menghubungkan lingkungan dengan peluang ekonomi dan kesejahteraan manusia.

Pendekatan Kami

Kami mengukur keberhasilan kami melalui perubahan nyata yang terjadi di lapangan. Pendekatan kami terdiri dari tiga langkah penting: *Count It* (Ukur), *Change It* (Ubah) dan *Scale It* (Perluas).

COUNT IT (UKUR)

Kami memulai dengan data. Kami melakukan penelitian independen dan menggunakan teknologi terkini untuk mengembangkan pemahaman dan rekomendasi baru. Analisis cermat kami mencoba mengidentifikasi risiko, membuka peluang dan menginformasikan strategi tepat sasaran. Kami memusatkan upaya kami pada perekonomian berpengaruh dan berkembang, yang akan menentukan masa depan keberlanjutan.

CHANGE IT (UBAH)

Kami menggunakan penelitian kami untuk menginspirasi aksi nyata dari pemerintah, pelaku usaha dan masyarakat sipil. Kami menguji proyek bersama-sama masyarakat, perusahaan dan lembaga pemerintah untuk membangun basis bukti yang kuat. Lalu, kami bekerja dengan para mitra kami untuk menggerakkan perubahan yang mampu mengurangi kemiskinan dan meningkatkan kesejahteraan manusia. Kami membuat tujuan yang dapat diukur dan bertanggung jawab untuk memastikan hasil kerja kami bertahan lama.

SCALE IT (PERLUAS)

Kami tidak berpikir dalam skala kecil. Setelah diuji, kami bekerja sama dengan mitra untuk mengadopsi dan memperluas upaya kami di tingkat regional dan global. Kami terlibat dengan para pembuat keputusan untuk mengimplementasikan gagasan dan meningkatkan dampak. Kami mengukur keberhasilan kami melalui aksi perubahan oleh pemerintah dan pelaku usaha yang mampu memperbesar peluang kesejahteraan bagi masyarakat serta mempertahankan lingkungan yang sehat.

Peta adalah untuk tujuan ilustrasi dan tidak menyiratkan ekspresi pendapat apa pun di pihak WRI, mengenai status hukum negara atau wilayah mana pun atau tentang penetapan batas atau perbatasan.