

See discussions, stats, and author profiles for this publication at: <https://www.researchgate.net/publication/348655867>

Neraca Air Kesatuan Hidrologis Gambut

Book · December 2020

CITATION

1

READS

2,546

8 authors, including:



Sigit Sutikno

Universitas Riau

108 PUBLICATIONS 303 CITATIONS

[SEE PROFILE](#)



Besri Nasrul

Universitas Riau

15 PUBLICATIONS 58 CITATIONS

[SEE PROFILE](#)



Sinta Haryati Silviana

Bogor Agricultural University

6 PUBLICATIONS 14 CITATIONS

[SEE PROFILE](#)



Eka Kurnia Saputra

STIE Pembangunan Tanjungpinang

19 PUBLICATIONS 14 CITATIONS

[SEE PROFILE](#)

Some of the authors of this publication are also working on these related projects:



PENGEMBANGAN SISTEM TERPADU PERINGATAN DINI, SIAGA DARURAT, DAN RESPON CEPAT TERHADAP KEBAKARAN LAHAN GAMBUT TROPIS DALAM MEMBENTUK DESA TANGGUH BENCANA KEBAKARAN DI INDONESIA [View project](#)



Carbon Biomass [View project](#)



NERACA AIR

KESATUAN HIDROLOGIS GAMBUT

NERACA AIR
KESATUAN HIDROLOGIS GAMBUT



Badan Restorasi Gambut Republik Indonesia
Gedung Kementerian Sekretariat Negara Lantai 2
Jalan Teuku Umar No. 10 Menteng, Jakarta Pusat. 10350
Telp. (021) 3190 12608 Email: admin@brg.go.id





Neraca air

Kesatuan Hidrologis Gambut

Penulis:

Sigit Sutikno, Besri Nasrul, Andy Hendri, Sinta Haryati Silviana,
Eka Saputra, Diah Sulistio Ningrum, Dian Afriyanti, M. Malik Ar
Rahiem

Editor:

Dr. Haris Gunawan, Ir. L. Budi Triadi

KEDEPUTIAN BIDANG PENELITIAN DAN PENGEMBANGAN
BADAN RESTORASI GAMBUT
TAHUN 2020

Neraca Air Kesatuan Hidrologis Gambut

Hak Cipta © Badan Restorasi Gambut, 2020

Hak cipta dilindungi oleh undang-undang

Dilarang mengutip atau memperbanyak sebagian atau seluruh isi buku ini tanpa izin tertulis dari pemegang hak cipta atau penulis

Penulis : Sigit Sutikno, Besri Nasrul, Andy Hendri, Sinta Haryati Silviana, Eka Saputra, Diah Sulistio Ningrum, Dian Afriyanti, M. Malik Ar Rahiem
Editor : Dr. Haris Gunawan, Ir. L. Budi Triadi
Editor Teknis : C. Nugroho S Priyono, Ivan Aliyatul Humam
Layout : Jeniosa Dias Efrata, Raipan Rifansyah, Muhammad Kusairi, S.T

Saran Pustaka:

Sutikno S., Besri Nasrul, Andy Hendri, Sinta Haryati Silviana, Eka Saputra, Diah Sulistio Ningrum, Dian Afriyanti, M. Malik Ar Rahiem. 2020. Neraca Air Kesatuan Hidrologis Gambut. Kedeputusan Penelitian dan Pengembangan, Badan Restorasi Gambut, Republik Indonesia, Jakarta

XVI + 146 hlm; 17,6 cm x 25 cm

ISBN: 978-623-92006-7-1



Badan Restorasi Gambut
Republik Indonesia

Gedung Sekretariat Negara Lt.2

Jl. Teuku Umar 10-11, Menteng, Jakarta Pusat 10350

Tel: (021) 319 012608; twitter: @BRG_Indonesia; www.brg.go.id

KATA PENGANTAR

Alhamdulillah puji syukur kami panjatkan kehadiran Allah Subhanahu Wa Ta'ala atas segala nikmat dan rahmatnya sehingga kami dapat menyelesaikan buku Neraca Air Kesatuan Hidrologis Gambut ini dengan baik. Penulis juga berterimakasih kepada pihak-pihak terkait yang memberikan bantuan dan dukungan agar buku ini dapat diselesaikan tepat waktu, dapat bermanfaat secara luas dan selesai tepat waktu.

Penyusunan buku ini difasilitasi oleh Badan Restorasi Gambut, Republik Indonesia (BRG-RI) dengan harapan bisa menjadi salah satu referensi dalam melakukan analisis hidrologi khususnya analisis neraca air di lahan gambut. Analisis neraca air adalah suatu hal yang sangat penting dilakukan sebagai dasar untuk perencanaan sistem tata air dalam rangka untuk restorasi hidrologi di lahan gambut. Restorasi hidrologi dengan mengembalikan fungsi-fungsi hidrologis lahan gambut merupakan usaha kunci dalam rangka untuk restorasi gambut.

Buku ini terdiri atas 5 BAB yang menjelaskan tentang konsep dasar hidrologi lahan gambut, metode perhitungan dan analisis neraca air di lahan gambut, pembuatan model hidrologi neraca air di lahan gambut serta studi kasus aplikasi model neraca air di lahan gambut. Buku ini disusun secara sistematis untuk membantu pemahaman penulis dari dasar metode perhitungan dan analisis neraca air di lahan gambut. Konsep dan panduan perhitungan yang ditulis dalam buku ini merupakan hasil kerjasama dengan berbagai pihak. Kegiatan tersebut diharapkan dapat terus berlanjut dan menghasilkan penelitian-penelitian baru berupa publikasi buku dan lain-lain.

Tim penulis menyadari bahwa buku ini masih jauh dari sempurna oleh karena itu kritik konstruktif dan saran dari berbagai pihak sangat diperlukan untuk penyempurnaan buku maupun model neraca air di masa yang akan datang. Besar harapan kami semoga buku ini bisa bermanfaat baik kepada peneliti maupun praktisi serta instansi pemerintah dalam melakukan usaha-usaha restorasi gambut khususnya di gambut tropis.

Pekanbaru, 1 Desember 2020

Tim Penulis

SAMBUTAN PENGANTAR

DEPUTI BIDANG PENELITIAN DAN PENGEMBANGAN

Pemahaman mengenai ekosistem gambut telah menyimpulkan paradigma bahwa ekosistem gambut yang berkelanjutan perlu menjaga keseimbangan dalam siklus hidrologi. Ekosistem gambut yang selalu basah merupakan konstrain yang harus menjadi konsen semua pengambil kebijakan. Menjaga tinggi muka air tanah optimal berfungsi untuk membasahi gambut dan mencegah berbagai konsekuensi buruk dari terdegradasinya gambut. Permasalahan di lahan gambut tropis berupa kanalisasi yang semakin masif, berdampak kepada kemampuan penyimpanan air di lahan gambut. Terkurusnya simpanan air tersebut berdampak terhadap berbagai permasalahan seperti subsidensi, kebakaran dan kenaikan emisi. Perlu penanganan yang komprehensif dan pengambilan keputusan berdasarkan riset yang akurat. Pemahaman awal dari siklus hidrologi di lahan gambut menjadi dasar untuk membangun ekosistem yang berkelanjutan

Penjabaran fungsi hidrologi untuk assemen penilai kondisi lahan gambut adalah dengan mensimulasikan simpanan yang terkandung di dalamnya. Dalam bidang hidrologi, perhitungan neraca air adalah cara terbaik untuk menentukan ketersediaan dan kebutuhan air yang dipengaruhi tata Kelola air di lahan gambut. berbagai kegiatan di lahan gambut mempengaruhi siklus hidrologi yang awalnya tanpa intervensi. Kegiatan tersebut perlu pengelolaan yang terperinci tergantung apa yang kan dicapai, tentu dengan memperhatikan konstrain-konstrain mutlak yang tidak boleh dilanggar.

Di awal buku ini akan dibahas mengenai karakteristik gambut,vegetasi dan restorasi di lahan gambut. Bagian awal

digunakan untuk memberikan gambaran awal secara umum tentang gambut. Bab tersebut berguna untuk masuk kedalam pemahaman yang lebih detail tentang siklus hidrologi yang akan dibahas pada bab berikutnya. Pada Bab 2 mulai masuk pembahasan tentang hidrologi di lahan gambut. Bagian penting dalam lahan gambut adalah kombinasi dari air, tanah dan vegetasi yang saling berhubungan, oleh karena itu penting memahami siklus hidrologi gambut secara utuh. Pemahaman siklus hidrologi lebih spesifik di lahan gambut karena ada unsur-unsur lain seperti kebakaran, kapasitas tampungan lahan gambut dan nilai konduktivitas yang berbeda tergantung kondisi-kondisi tertentu. Diperkenalkan juga tentang Kesatuan Hidrologi Gambut (KHG) yang menjadi batasan dalam menganalisis hidrologi secara integratif disertai prinsip penentuan deliniasi KHG tersebut.

Pada Bab 3 materi, mulai masuk ke spesifik perhitungan Neraca Air. Perkiraan secara kuantitatif dari siklus hidrologi berdasarkan prinsip konservasi disebut neraca air. Dengan membaca bab 1 dan bab 2 sebagai pengantar untuk memahami prinsip hidrologi di lahan gambut, maka pembaca akan mudah menerima konsep dan perhitungan neraca air. Dalam bab tersebut dibahas rumus neraca air sesuai dengan kondisi di lapangan dan asumsi-asumsi yang dipakai. Pemilihan rumus tersebut memiliki spesifikasi tertentu tergantung lokasi penelitian. Perbedaan topografi dan keadaan ekosistem di lahan gambut memberikan konsekuensi asumsi berbeda seperti yang terjadi pada gambut ombrogen dan topogen. Hal di atas dijelaskan secara detail dalam bab 3 untuk memberikan referensi yang komprehensif untuk pihak terkait dalam penelitian neraca air.

Selanjutnya pada Bab 4 membahas mengenai pengembangan modul neraca air yang dapat diterapkan di lahan gambut. Kesulitan dalam menilai neraca air di lahan gambut dapat didekati dengan modul yang dikembangkan dalam buku ini. Metode neraca air Thornthwaite Matter digunakan dengan kelebihan perhitungan dengan pendekatan kapasitas kelembaban tanah (soil moisture capacity) untuk memperkirakan ketersediaan air. Proses perhitungan dari pengumpulan data analisis dan output setelah proses kalibrasi dibahas secara detail. Bukan hanya itu pada bab selanjutnya dibahas studi kasus dengan contoh spesifik perhitungan dan aplikasi penentuan PIPG dalam sebuah KHG. Prediksi neraca air di masa depan juga dapat dilakukan secara efektif dan akurat disertai penjelasan yang mudah dipahami.

Pada akhirnya kami ucapkan terimakasih kepada penulis dan pihak yang terkait dalam buku neraca air ini. Semoga buku ini dapat dimanfaatkan secara luas dalam upaya restorasi lahan gambut. Saya sebagai Deputi Penelitian dan Pengembangan Badan Restorasi Gambut (BRG) memahami bahwa memperhitungkan neraca air untuk setiap kegiatan restorasi memerlukan konsen kita bersama. Maka dengan adanya buku ini dapat menjadi informasi sekaligus menyamakan persepsi dan paradigma tentang neraca air yang dapat diterapkan langsung di lapangan.

Dr. Haris Gunawan

DAFTAR ISI

KATA PENGANTAR TIM PENULIS	i
KATA PENGANTAR DEPUTI BIDANG PENELITIAN DAN PENGEMBANGAN	v
DAFTAR ISI	viii
DAFTAR GAMBAR	xi
DAFTAR TABEL	xv
BAB 1. PENDAHULUAN	2
1.1 Latar Belakang.....	2
1.2 Karakteristik Lahan Gambut.....	5
1.3 Vegetasi di Lahan Gambut.....	8
1.4 Degradasi Lahan Gambut.....	9
1.5 Restorasi Hidrologi Gambut.....	11
1.6 Restorasi Lahan Gambut.....	13
BAB 2. HIDROLOGI LAHAN GAMBUT	17
2.1 Siklus Hidrologi.....	17
2.2 Curah Hujan.....	18
2.2.1 Karakteristik Hujan.....	19
2.2.2 Alat Ukur Hujan.....	19
2.2.3 Pengolahan Data Hujan	20
2.2.4 Hujan Rencana.....	27
2.2.5 Data Hujan Satelit.....	28
2.3 Klimatologi.....	31
2.4 Kebakaran Lahan Gambut.....	32
2.5 Penguapan (Evaporasi).....	33
2.6 Konduktivitas Hidraulik (<i>Hydraulic Conductivity</i>).....	37
2.7 Aliran Air Tanah.....	38
2.8 Kapasitas Tampung (<i>Storage Capacity</i>).....	39
2.8.1 Deliniasi dan zonasi batas sub-KHG.....	41

2.8.2 Zonasi fungsi ekosistem gambut.....	42
2.8.3 Volume dan kapasitas simpanan air kubah gambut	43
2.9 Muka Air Tanah.....	43
2.10 Prediksi Muka Air Tanah.....	45
2.11 Korelasi Muka Air Kanal dan Muka Air Tanah.....	48
BAB 3 NERACA AIR DI LAHAN GAMBUT	54
3.1 Neraca Air	54
3.2 Pentingnya Perhitungan Neraca Air	55
3.3 Konsep Analisis Neraca Air	56
3.4 Neraca Air dan Tipe Gambut.....	57
3.5 Metode Perhitungan Neraca Air Lahan Gambut.....	59
3.5.1 Neraca Air Klimatologis.....	59
3.5.2 Neraca Air Lahan.....	60
3.5.3 Neraca Air Gambut Topogen.....	61
3.6 Perkembangan Analisis Neraca Air	62
BAB 4. PENGEMBANGAN MODEL NERACA AIR.....	67
4.1 Konsep Dasar Pemodelan.....	67
4.2 Model Neraca Air Thornthwaite-Matter	67
4.2.1 Curah Hujan (<i>P</i>).....	68
4.2.2 Potensi Evapotranspirasi (<i>PE</i>).....	69
4.2.3 Nilai perbedaan potensial evapotranspirasi dan presipitasi (<i>P-PE</i>).....	69
4.2.4 Akumulasi Kehilangan Air Potensial, <i>APWL</i> (<i>Accumulated Potential Water Loss</i>)	70
4.2.5 <i>Available Water Capacity (AWC)</i>	70
4.2.6 Perbedaan bulanan <i>Soil Moisture Storage (ΔST)</i>	70
4.2.7 <i>Actual Evapotranspiration (AE)</i>	72
4.2.8 <i>Deficit (D)</i> dan <i>Surplus (S)</i>	73

4.2.9 <i>Runoff (R)</i>	73
4.3 Pengembangan TMWB Model di Lahan Gambut.....	74
4.4 Kalibrasi dan Validasi Model.....	79
BAB 5. STUDI KASUS	82
5.1 Analisis Spasial dan Pembagian Sub-KHG.....	82
5.1.1 Deliniasi dan Pembagian batas sub-KHG.....	82
5.1.2 Zonasi fungsi ekosistem gambut.....	85
5.1.3 Analisis Tutupan Lahan.....	88
5.1.4 Saluran Drainase/Kanal.....	90
5.1.5 Analisis Karakteristik Tekstur Tanah.....	94
5.1.6 Tipologi Gambut.....	97
5.1.7 Topografi Permukaan Gambut.....	99
5.1.8 Ketebalan Gambut.....	101
5.2 Penentuan titik pengukuran debit.....	103
5.3 Pengukuran Debit dan Pemasangan Alat Ukur	104
5.3.1 Pemasangan Alat Ukur	104
5.3.2 Hasil Pengukuran.....	105
5.4 Analisis Simpanan Air Kubah Gambut.....	108
5.5 Analisis Neraca Air Klimatologis.....	111
5.6 Analisis Neraca Air TMWB Model.....	113
5.6.1 Pembuatan TMWB Model.....	113
5.6.2 Petunjuk Operasional TMWB Model.....	114
5.6.3 Kalibrasi dan Analisis Akurasi.....	123
5.6.4 Kondisi Neraca Air Lahan KHG Pulau Tebing Tinggi	127
5.7 Simulasi Dampak Intervensi Terhadap Neraca Air	129
5.7.1 Analisis dan Perencanaan PIPG.....	129
5.7.2 Analisis dampak Intervensi.....	130
5.7.3 Opsi permanen pembasahan dan pengelolaan berbasis neraca air	132

5.8 Skenario neraca air 2021, 2022, 2023, 2024, 2025.....	134
PENUTUP	139
DAFTAR PUSTAKA.....	140

DAFTAR GAMBAR

Gambar 1.1	Ekosistem lahan gambut dalam suatu kesatuan hidrologi gambut (KHG).....	6
Gambar 1.2	Interaksi antara tanaman/vegetasi, air dan material gambut pada satu kesatuan ekosistem gambut.....	9
Gambar 1.3	Proses terjadi degradasi lahan gambut.....	11
Gambar 1.4	Ilustrasi proses terjadi degradasi lahan gambut kepulauan.....	13
Gambar 1.5	Ilustrasi proses restorasi gambut.....	15
Gambar 2.1	Ilustrasi proses siklus hidrologi.....	18
Gambar 2.2	Prosedur menentukan hujan rencana	28
Gambar 2.3	Percobaan Darcy pada pipa horisontal.....	39
Gambar 2.4	Bagan alir zonasi batas sub-KHG.....	42
Gambar 2.5	Bagan alir penetapan fungsi ekosistem gambut sub-KHG.....	42
Gambar 2.6	Pemantauan muka air tanah baik secara manual (kiri) maupun sistem telemetri (kanan).....	44
Gambar 2.7	Sistem pemantauan muka air tanah di lahan gambut yang dikembangkan oleh Badan Restorasi Gambut	45
Gambar 2.8	Prinsip keseimbangan air pada suatu bagian lahan gambut.....	46
Gambar 2.8	Proses pemodelan dW_{rain} (a), dW_{loss} (b) dan perbandingan prediksi GWL dengan GWL yang	

	diamati (c) menggunakan data enam bulan (Mei-Oktober) 2018	48
Gambar 2.10	Seting penelitian untuk memahami korelasi elevasi air di kanal dan TMAP (Sumber (Khotimah et al. 2020)).....	49
Gambar 2.11	Korelasi kenaikan muka air di saluran (MAT D1-1) dengan kenaikan muka air tanah yang berjarak 101 m dan berjarak 201 m dari kanal pada Transek-1 (Khotimah et al. 2020)	50
Gambar 2.12	Korelasi kenaikan muka air di saluran (MAT D1-1) dengan kenaikan muka air tanah yang berjarak 101 m dari kanal pada Transek-2 (Khotimah et al. 2020).....	51
Gambar 2.13	Korelasi kenaikan muka air di saluran (MAT D1-1) dengan kenaikan muka air tanah yang berjarak 101 m dari kanal pada Transek-3 (Khotimah et al. 2020).....	52
Gambar 3.1	Sketsa imbalan air di KHG.....	55
Gambar 3.2	Sketsa keseimbangan air pada daerah gambut tipe topogen (atas) dan tipe ombrogen (bawah)	59
Gambar 4.1	Diagram model neraca air Thornthwaite-Matter	68
Gambar 4.2	Bagan alir pembuatan TMWB model di lahan gambut.....	76
Gambar 4.3	Bagan alir Pembuatan TMWB Model di Lahan Gambut.....	78
Gambar 5.1	Peta deliniasi dan zonasi kubah gambut KHG Pulau Tebing Tinggi.....	83
Gambar 5.2	Peta fungsi lindung ekosistem Gambut 30 %	

	sub-KHG Pulau Tebing Tinggi.....	86
Gambar 5.3	Peta fungsi lindung ekosistem gambut > 3 m sub-KHG Pulau Tebing Tinggi.....	87
Gambar 5.4	Peta Penutupan Lahan Pulau Tebing Tinggi....	88
Gambar 5.5	Peta dimensi saluran air (kanal) yang memiliki l lebar > 3 m dan kedalaman > 1 m di KHG Pulau Tebing Tinggi	94
Gambar 5.6	Peta tekstur tanah pada KHG Pulau Tebing Tinggi.....	95
Gambar 5.7	Peta digital terrain model (DTM) KHG Pulau Tebing Tinggi	100
Gambar 5.8	Peta garis kontur KHG Pulau Tebing Tinggi...	101
Gambar 5.9	Peta kelas ketebalan gambut Pulau Tebing Tinggi (KLHK, 2015).....	102
Gambar 5.10	Peta titik pengamatan neraca air Sub-KHG 1 di KHG Pulau Tebing Tinggi.....	104
Gambar 5.11	Dokumentasi pemasangan alat dan pengukuran kecepatan pada KHG Pulau Tebing Tinggi.....	105
Gambar 5.12	Data hasil pengukuran pasang surut air laut pada perairan pantai di sekitar KHG Pulau Tebing Tinggi	106
Gambar 5.13	Data hasil pengukuran kedalaman kanal pada KHG Pulau Tebing Tinggi	107
Gambar 5.14	Liku kalibrasi tiap-tiap lokasi pengukuran kanal pada KHG Pulau Tebing Tinggi	107
Gambar 5.15	Data debit masing-masing kanal pada KHG Pulau Tebing Tinggi.....	107
Gambar 5.16	Rekap data debit bulanan total yang keluar dari sub-KHG-1 pada KHG Pulau Tebing Tinggi ..	108
Gambar 5.17	Kondisi neraca air klimatologis pada KHG Pulau	

	Tebing Tinggi	113
Gambar 5.18	Alur algoritma penyusunan model neraca air TMWB.....	114
Gambar 5.19	Tampilan aplikasi TMWB Model.....	114
Gambar 5.20	Bagain input “Data Lokasi Tinjauan” pada Sheet “TMWB”	117
Gambar 5.21	Bagain input “Data Klimatologi” pada Sheet “TWMB”	118
Gambar 5.22	Bagain input “Data Kemampuan Tanah Menahan Air” pada Sheet “TMWB”.....	120
Gambar 5.23	Bagain input “Data Direct Run Off (DRO)” pada Sheet “TMWB”.....	122
Gambar 5.24	Bagain input “Data Akurasi Model” pada Sheet “TMWB”	123
Gambar 5.24	Hubungan antara DRO simulasi dan observasi pada tahap kalibrasi.....	127
Gambar 5.26	Hasil analisis neraca air klorimatologis pada Sub-KHG-1 menggunakan TMWB Model.....	129
Gambar 5.27	Hasil analisis neraca air lahan pada Sub-KHG-1 menggunakan TMWB Model.....	129
Gambar 5.28	Perencanaan penempatan sekat kanal pada KHG Pulau Tebing Tinggi dengan beda tinggi tidak lebih dari 0,5 m pada kanal-kanal yang memotong kontur	130
Gambar 5.29	Hasil simulasi pengaruh implementasi opsi implementasi PIPG terhadap pengurangan DRO pada KHG Pulau Tebing Tinggi	131
Gambar 5.30	Kondisi neraca air eksisting (kiri) dan neraca air opsi implementasi 100% PIPG (kanan) pada Sub KHG-1 Pulau Tebing Tinggi.....	132

Gambar 5.32	Kondisi neraca air eksisting (tanpa intervensi) prediksi tahun 2021, 2022, 2023, 2024 dan 2025 tiap-tiap sub KHG Pulau Tebing Tinggi.....	137
--------------------	---	-----

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1	Uji Homogenitas Sta Curah Hujan Pekanbaru.....	23
Tabel 2.2	Variabel data iklim.....	32
Tabel 2.3	Tabel ea dalam mbar (°C).....	34
Tabel 2.4	Angka Koefisien Bulanan (°C) untuk Rumus Penman.....	34
Tabel 2.5	Harga W sesuai Temperatur dan Ketinggian.....	35
Tabel 2.6	Koefisien Pemantulan (Koefisien Albedo).....	36
Tabel 2.7	Ra dalam Evaporasi Ekuivalen (mm/hari) untuk Belahan Bumi Utara.....	37
Tabel 2.8	Nilai Konduktivitas Hidrolik Gambut Berdasarkan Beberapa Studi.....	50
Tabel 2.9	Fluktuasi kenaikan muka air tanah pada Transek-1 (Khotimah et al. 2020).....	51
Tabel 2.10	Fluktuasi kenaikan MAT pada Transek-2 (Khotimah et al.2020).....	72
Tabel 4.1	Perkiraan nilai <i>Available Water Capacity (AWC)</i>	79
Tabel 4.2	Kriteria nilai koefisien korelasi.....	83
Tabel 4.3	Keterangan dari Nama-nama <i>Sheet</i>	87
Tabel 4.4	Penjelasan input data umum.....	89
Tabel 4.5	Penjelasan input data klimatologi.....	91
Tabel 4.6	Penjelasan input data tekstur tanah.....	92
Tabel 4.7	Penjelasan input data koefisien run off.....	97
Tabel 4.8	Penjelasan input data parameter error.....	100
Tabel 4.9	Data Curah Hujan Rerata Tahunan Pada Sub KHG 1	

	Tebing Tinggi pada skenario fungsi lindung ekosistem gambut 30 % KHG.....	71
Tabel 5.10	Keterangan dari nama-nama <i>Sheet</i>	75
Tabel 5.11	Penjelasan input data umum.....	76
Tabel 5.12	Penjelasan input data klimatologi.....	77
Tabel 5.13	Penjelasan input data tekstur tanah.....	78
Tabel 5.14	Penjelasan input data koefisien run off.....	79
Tabel 5.15	Penjelasan input data parameter error.....	80
Tabel 5.16	Data Direct Run Off di Sub KHG-1 Pulau Tebing Tinggi.....	80
Tabel 5.17	Data curah hujan rerata bulanan pada Sub KHG 1 Pulau Tebing Tinggi.....	80
Tabel 5.18	Data suhu rerata bulanan pada Sub KHG 1 Pulau Tebing Tinggi.....	81
Tabel 5.19	Data tutupan lahan yang digunakan pada Sub KHG-1 Pulau Tebing Tinggi.....	81
Tabel 5.20	Proses kalibrasi dengan coba ulang nilai <i>k</i> dari 0.1 hingga 1.0.....	82
Tabel 5.21	Proses kalibrasi dengan coba ulang nilai <i>k</i> dari 0.45 hingga 0.54.....	82
Tabel 5.22	Asumsi pengurangan DRO akibat dari opsi implementasi PIPG dan estimasi nilai <i>k</i> untuk masing-masing opsi	85
Tabel 5.23	Pengaruh implementasi opsi PIPG terhadap kondisi neraca air tahunan tiap-tiap sub KHG pada KHG Pulau Tebing Tinggi.....	134
Tabel 5.24	Data hujan hasil prediksi yang digunakan dengan menggunakan metode Jaringan Syaraf Tiruan.....	136

	Pulau Tebing Tinggi.....	103
Tabel 4.10	Data Suhu Rerata Tahunan Pada Sub KHG 1 Pulau Tebing Tinggi.....	110
Tabel 4.11	Data Tabel Tutupan lahan yang digunakan pada Sub KHG-1 Pulau Tebing Tinggi.....	116
Tabel 4.12	Data Direct Run Off di Sub KHG-1 Pulau Tebing Tinggi.....	117
Tabel 4.13	Asumsi pengurangan DRO akibat dari opsi implementasi PIPG dan estimasi nilai k untuk masing-masing opsi.....	119
Tabel 4.14	Pengaruh implementasi opsi PIPG terhadap kondisi neraca air tahunan tiap-tiap sub KHG pada KHG Pulau Tebing Tinggi.....	121
Tabel 4.15	Data hujan hasil prediksi yang digunakan dengan menggunakan metode Jaringan Syaraf Tiruan.....	122
Tabel 5.1	Zonasi kubah gambut sub-KHG Pulau Tebing Tinggi.....	123
Tabel 5.2	Penetapan fungsi ekosistem gambut di KHG Pulau Tebing Tinggi.....	124
Tabel 5.3	Penggunaan lahan/penutupan lahan Pulau Tebing Tinggi.....	125
Tabel 5.4	Penyebaran saluran air alami atau sungai di KHG Pulau Tebing Tinggi.....	127
Tabel 5.5	Dimensi sungai dan kanal di beberapa titik pengamatan hidrologi di KHG Pulau Tebing Tinggi....	59
Tabel 5.6	Jenis tanah dan kematangan gambut KHG Pulau Tebing Tinggi.....	62
Tabel 5.7	Kelas elevasi lahan di KHG Pulau Tebing Tinggi.....	64
Tabel 5.8	Kelas ketebalan gambut Pulau Tebing Tinggi.....	66
Tabel 5.9	Kubah gambut dan volume cadangan air KHG Pulau	



BAB 1. PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Berdasarkan Peraturan Pemerintah Nomor 57 Tahun 2016, Gambut didefinisikan sebagai material organik yang terbentuk secara alami dari sisa-sisa tumbuhan yang terdekomposisi tidak sempurna dengan ketebalan 50 (lima puluh) sentimeter atau lebih dan terakumulasi pada rawa. Luas lahan gambut dunia saat ini sekitar 400 juta ha, 44 juta ha diantaranya adalah lahan gambut tropis. Luas lahan gambut tersebut hanya meliputi 3% dari luas daratan bumi, namun mempunyai kandungan karbon lebih dari 30% dari total karbon yang ada di bumi (Gorham 1991; Immerzi dan Maltby 1992). Oleh karena itu, lahan gambut memiliki pengaruh yang sangat penting terhadap pengendali perubahan iklim dunia.

Lahan gambut juga memiliki peranan yang penting dalam memelihara keseimbangan lingkungan baik sebagai reservoir air maupun penyimpan karbon (*carbon storage*) namun juga sekaligus memiliki potensi ancaman bencana yang serius jika tidak dikelola dengan baik. Kadar air tanah gambut berkisar antara 100-1.300% dari berat keringnya (Mutalib et al., 1991). Hal ini berarti gambut mampu menyerap air sampai 13 kali bobotnya sehingga menjadikan lahan gambut sebagai cadangan air tawar yang sangat besar. Sebagai penyimpan karbon, lahan gambut mampu menyimpan 550 Gigaton karbon pada biomassa tanaman, serasah di bawah hutan, lapisan gambut, dan lapisan tanah mineral di bawah gambut.

Lahan gambut tropis mempunyai kekayaan flora dan fauna yang khas serta mempunyai nilai ekologi tinggi. Sifat khas tersebut dipengaruhi oleh karakteristik lahan gambut yang merupakan ekosistem unik dengan pH asam, miskin hara, mengandung bahan organik yang tebal, serta selalu terendam air. Dari sekitar 258.650 spesies pohon tinggi

yang tercatat di dunia, sekitar 13-15% terdapat di kawasan ekosistem gambut Indonesia (Osaki, et al, 2016) Fungsi budidaya ekosistem gambut berperan dalam menunjang produktivitas ekosistem gambut melalui kegiatan budidaya sesuai dengan daya dukungnya untuk dapat melestarikan fungsi ekosistem gambut.

Indonesia memiliki lahan gambut terluas di dunia, yaitu sekitar 21 juta ha (48%), yang merupakan 10% dari luas total daratan wilayah Indonesia (Murdiyarto et al. 2010). Namun demikian, degradasi lahan gambut di Indonesia telah terjadi dalam skala besar, sehingga hanya tersisa kurang dari 4% dari lahan gambut yang masih asli (*Pristine Peat Swamp Forest*), sementara 37% lainnya sudah mengalami degradasi dengan berbagai tingkatan degradasi. Selanjutnya, lebih dari 20% dalam kondisi sebagai lanskap terdegradasi yang tidak dikelola, ditumbuhi pakis, semak dan tumbuhan sekunder (Koh et al. 2011). Pembukaan lahan gambut yang tidak terkontrol untuk keperluan hutan tanaman dan budidaya pertanian lahan kering dengan kanalisasi menyebabkan lahan gambut terus mengalami degradasi. Lahan gambut yang secara alamiah selalu basah dan lembab akan berpotensi menimbulkan berbagai macam bencana jika dikeringkan, diantaranya adalah kekeringan, kebakaran hutan dan lahan, subsidensi tanah, banjir, dan abrasi pantai. Lahan-lahan gambut yang sudah terlanjur dibuka dan dikeringkan akan terus mengalami degradasi, untuk itu perlu dilakukan usaha-usaha pencegahan dan restorasi untuk mengembalikan fungsi ekosistem gambut.

Untuk memulihkan kembali fungsi ekosistem gambut sebagai penyimpan karbon, penjaga biodiversity, media penyimpan air, dan pengurangan emisi gas rumah kaca maka diperlukan restorasi lahan gambut melalui pengaturan tata air yang baik (Holden et al. 2011), (Ballard et al. 2011). Kunci dalam melakukan perlindungan dan restorasi gambut adalah dengan menjaganya dalam kondisi selalu basah atau lembab.

Indonesia yang berada pada daerah tropis menyebabkan ketersediaan air yang tidak merata sepanjang tahun. Di saat musim hujan ketersediaan air berlebih yang kadang kala menyebabkan terjadinya bencana banjir, sebaliknya di saat musim kemarau ketersediaan air sangat terbatas yang berpotensi menyebabkan kekeringan. Untuk itu, dalam rangka untuk menjaga lahan gambut selalu dalam kondisi basah atau lembab maka diperlukan sistem tata air yang baik.

Sistem tata air di lahan gambut yang baik pada prinsipnya adalah bisa menyimpan air disaat-saat surplus tanpa menimbulkan bencana banjir dan masih tetap cukup untuk membasahi gambut di saat musim kemarau. Untuk bisa mengetahui kondisinya apakah surplus atau defisit dalam suatu KHG atau landsekap maka diperlukan analisis neraca air. Analisis neraca air di lahan gambut lebih kompleks dari pada di lahan mineral karena banyaknya kanal-kanal yang menyebabkan kesulitan memprediksi besaran *outflow* yang keluar dari wilayah kajian. Selain itu, pada kanal-kanal outlet tersebut biasanya tidak tersedia data pengukuran debit, sehingga diperlukan model hidrologi untuk memprediksinya. Model hidrologi hujan-aliran yang berkembang saat ini sebagian besar untuk lahan tanah mineral pada daerah *upland* yang biasanya analisisnya menggunakan pendekatan DAS (Daerah Aliran Sungai) sedangkan analisis di lahan gambut menggunakan pendekatan KHG. Untuk itu perlu dikembangkan model hidrologi yang bisa diaplikasikan pada lahan gambut yang merupakan daerah *low land* dengan batasan area kajian KHG.

Buku dengan judul Neraca Air Kesatuan Hidrologis Gambut ini disusun berdasarkan hasil-hasil temuan riset terbaru yang terkait dengan hidrologi di lahan gambut terutama yang terkait dengan analisis neraca air. Semoga buku ini bisa memberikan tuntunan dan referensi bagi

pembuat kebijakan, peneliti, praktisi maupun mahasiswa yang akan melakukan analisis hidrologi dan neraca air di lahan gambut.

1.2 Karakteristik Lahan Gambut

Lahan gambut yang secara alamiah terbentuk pada lingkungan yang selalu basah atau lembab baik secara musiman atau permanen, memiliki fungsi sebagai pengatur air dan media simpanan air (*reservoir*) jika belum terdegradasi. Gambut yang masih alami terdiri dari hampir 90% air dan 10% sisanya merupakan sisa bahan tanaman yang membusuk (Jaenicke et al. 2010), oleh karenanya gambut dalam kondisi alami (belum terganggu) akan selalu dalam kondisi basah dan lembab yang berfungsi sebagai pengatur dan penyimpan air. Oleh karena itu, proses hidrologi sangat penting dalam pengelolaan lahan gambut (Labadz et al. 2010). Pada musim kemarau tanah gambut berfungsi sebagai lapisan penahan air dan melepaskan air secara perlahan. Air gambut tampak berwarna hitam kecoklatan, karena akibat terendahnya bermacam-macam bahan organik yang cukup lama pada lahan gambut (Dohong et al. 2017). Beberapa karakteristik lahan gambut yang mempengaruhi secara signifikan dalam analisis dan perhitungan neraca air adalah kemampuan gambut menyimpan air, tingkat kematangan gambut, nilai konduktivitas hidraulik, dan tipe gambut berdasarkan lingkungan pembentuknya.

Lahan gambut memiliki sifat *hydrophysical*, yaitu daya serap yang tinggi sehingga mampu menampung air sebesar 450-850% dari bobot keringnya atau hingga 90% dari volumenya. Oleh karena itu, puncak kubah gambut yang masih dalam kondisi terpelihara, bisa dimanfaatkan sebagai area penyimpanan air (Gambar 1.1). Oleh karena itu, salah satu manfaat lahan gambut adalah untuk mengurangi dampak buruk bencana banjir dan kemarau.



Sumber: <https://pantaugambut.id>

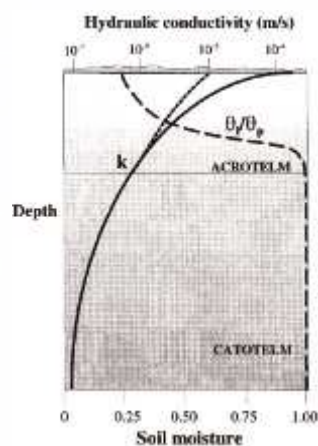
Gambar 1.1 Ekosistem lahan gambut dalam suatu kesatuan hidrologi gambut (KHG)

Berdasarkan tingkat kematangannya, gambut bisa dikelompokkan menjadi gambut matang (saprik), gambut setengah matang (hemik), dan gambut mentah (fibrik). Gambut saprik yaitu gambut yang sudah melapuk dan bahan asalnya sudah tidak bisa dikenali, berwarna cokelat tua hingga hitam dan bila diremas dengan tangan kandungan seratnya < 15%. Gambut hemik yaitu gambut setengah lapuk dan sebagian bahan induknya masih bisa dikenali, berwarna cokelat dan bila diremas bahan seratnya di kisaran 15-75%. Sedangkan Gambut mentah yaitu gambut yang belum melapuk dan bahan induknya bisa dikenali dengan mudah, berwarna cokelat dan bila diremas bahan seratnya > 75%. Tingkat kematangan gambut akan mempengaruhi kemampuan lahan dalam menyimpan air. Semakin tinggi tingkat kematangan gambut, nilai porositasnya semakin kecil, dan makin tinggi kemampuan lahan gambut dalam menyimpan air. Untuk itu, informasi kematangan gambut sangat penting dalam melakukan analisis neraca air.

Konduktivitas hidrolis lahan gambut menunjukkan kemampuan gambut untuk mengalirkan air yang melewatinya. Ada dua kondisi konduktivitas hidraulik, yaitu pada saat jenuh air dan tidak jenuh air. Kondisi jenuh air terjadi ketika pori-pori pada tanah sudah terisi air. Kondisi tidak jenuh air terjadi ketika pori-pori pada tanah tidak terisi dengan air. Kecepatan aliran air didalam tanah sangat dipengaruhi oleh besar dan kecilnya pori-pori tanah. Nilai

konduktivitas hidraulik di lahan gambut berkisar antara $4,40 \times 10^{-6}$ - $5,67 \times 10^{-3}$ (Prabandini 2016). Besar kecilnya nilai konduktivitas hidraulik di lahan gambut sangat tergantung pada tingkat kematangan gambut. Semakin tinggi tingkat kematangan gambut, semakin kecil nilai konduktivitas hidrauliknya. Penjelasan lebih detail tentang hal ini disajikan lebih lanjut pada Sub-Bab 2.6.

Besar kecilnya nilai konduktivitas hidraulik akan mempengaruhi tingkat pengatusan atau pengeringan lahan gambut yang akan mempengaruhi dalam analisis neraca air. Kecepatan aliran air melalui gambut ditentukan oleh nilai konduktivitas hidrauliknya, yang biasanya dalam kisaran mm atau cm per hari tetapi bisa sangat bervariasi tergantung pada kondisi propertis fisik dari gambut (termasuk komposisi vegetasi, pemadatan, dekomposisi dan adanya *macropores* (pipa) dan gelembung gas yang terperangkap (Labadz et al. 2010). Ini semua akan mempengaruhi laju limpasan dari lahan gambut. Lapisan gambut di permukaan biasanya paling sedikit membusuk dan yang paling permeabel, kadang-kadang disebut "acrotelm" atau lapisan aktif. Di bawah lapisan ini gambut tetap jenuh, sehingga oksigen tidak dapat menembus. Disini "catotelm" bahan tanaman terurai perlahan dan menjadi lebih kompak dan kurang permeabel terhadap air (Gambar 1.2).



Sumber: (Letts et al. 2000)

Gambar 1.2 Karakteristik khas dari dua parameter tanah organik. Konduktivitas hidraulik jenuh, k_s , bervariasi lebih dari tiga kali lipat dengan kedalaman di profil gambut. Garis putus-putus di sebelah kiri menggambarkan bahwa k berkurang setelah pengeringan. Pada bulan-bulan musim kering, kebasahan tanah, θ/θ_p , turun di acrotelm, tetapi lapisan yang lebih dalam dari kolom tanah tetap jenuh.

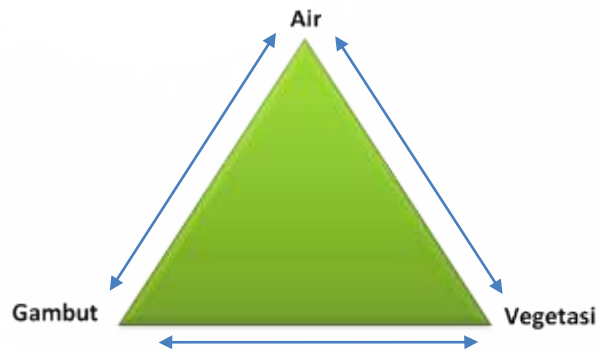
Menurut lingkungan pembentukannya, gambut dikelompokkan menjadi gambut ombrogen dan gambut topogen. Gambut ombrogen yaitu gambut yang terbentuk pada lingkungan yang hanya dipengaruhi/bersumber dari air hujan, sedangkan gambut topogen yaitu gambut yang terbentuk di lingkungan air pasang sungai/laut atau dari inlet lain. Analisis perhitungan neraca air berbeda untuk jenis gambut topogen dan gambut ombrogen karena sumber airnya berbeda. Pada gambut ombrogen, sumber air inputnya hanya air hujan saja, sedangkan pada gambut topogen, sumber airnya selain air hujan masih ada air pasang air laut atau *inflow* dari kanal.

1.3 Vegetasi di Lahan Gambut

Ekosistem gambut terdiri atas tiga komponen utama, yaitu material gambut, air dan vegetasi/tanaman yang tidak terpisahkan dan saling mempengaruhi satu sama lain (Gambar 1.3). Gambut adalah material organik yang terbentuk dari sisa-sisa tanaman yang telah terdekomposisi secara tidak sempurna, karena berada pada lingkungan yang jenuh air. Material gambut yang terbentuk akan membentuk permukaan lahan yang akan mempengaruhi dinamika pergerakan air baik dalam bentuk aliran permukaan maupun aliran air tanah. Sedangkan keberadaan air secara temporal maupun spasial akan mempengaruhi jenis vegetasi yang akan tumbuh dan berkembang serta proses pembentukan gambut. Sementara itu, jenis vegetasi akan mempengaruhi jenis gambut yang akan terbentuk dan distribusi air baik secara vertikal maupun horizontal. Karena masing-masing komponen tersebut saling terkait satu sama lain, maka jika salah satu atau dua komponen mengalami gangguan maka akan menyebabkan gangguan pada komponen yang lainnya.

Secara umum, gangguan ekosistem gambut umumnya diawali dengan kegiatan penebangan kayu (*logging*), alih guna

lahan (konversi) ke peruntukan lain (pertanian, perkebunan dan transmigrasi) yang disertai dengan pembangunan jaringan kanal drainase secara berlebihan (Bonn et al. 2016). Akibatnya gambut mengalami kekeringan dan rentan terbakar. Penebangan hutan rawa gambut dan pembangunan drainase buatan (kanal, parit) di lahan gambut menyebabkan air di lahan gambut terkuras secara berlebihan sehingga menyebabkan gambut sulit untuk dibudidayakan dan kering serta mudah terbakar.



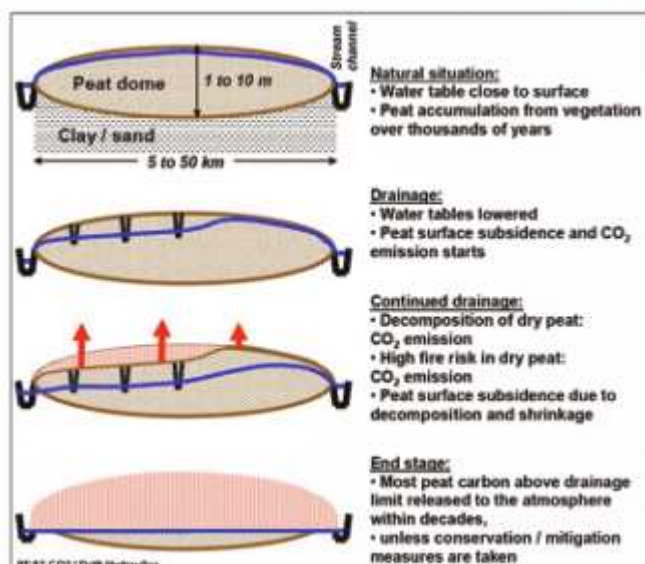
Gambar 1.3 Interaksi antara tanaman/vegetasi, air dan material gambut pada satu kesatuan ekosistem gambut

1.4 Degradasi Lahan Gambut

Degradasi lahan gambut biasanya diawali dengan alih fungsi lahan dari kondisi yang masih alami (*natural condition*) menjadi fungsi lain seperti untuk lahan hutan tanaman, perkebunan atau pertanian. Dalam kondisi masih alami, lahan gambut biasanya memiliki kedalaman muka air tanah yang cukup dekat ke permukaan tanah, yaitu berkisar antara 20 sampai 25 cm. Kerusakan gambut mulai terjadi dan terus berlangsung ketika dilakukan alih fungsi lahan dengan penebangan pohon dan pembuatan kanal. Akibat dari pembuatan kanal dan penebangan pohon, menyebabkan air tanah akan turun yang menyebabkan

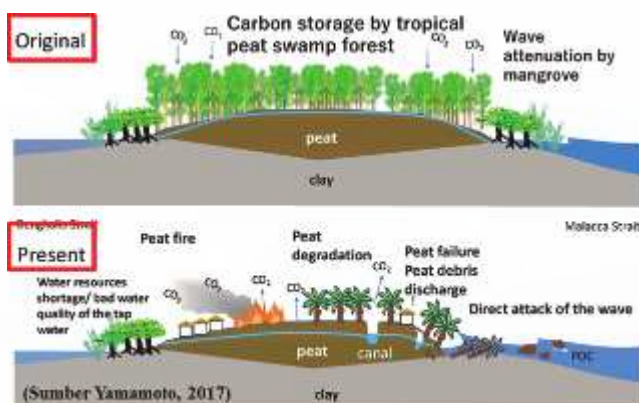
permukaan gambut mengalami subsidensi. Dampak lain dari kegiatan tersebut adalah meningkatnya emisi CO₂. Kondisi tersebut akan terus berlangsung yang menyebabkan lahan gambut menjadi mudah terbakar. Lahan Gambut yang sudah terbakar akan terus terdegradasi dan makin mudah terbakar pada waktu-waktu berikutnya. Proses degradasi ini akan terus berlangsung hingga pada kondisi di mana lahan gambutnya telah habis dan semua areanya terendam air. Ilustrasi proses degradasi lahan gambut tersebut disajikan pada Gambar 1.4.

Kondisi aktual degradasi lahan gambut yang saat ini sedang terjadi sebagaimana diilustrasikan pada Gambar 1.5. Secara khusus degradasi lahan gambut pada gambut kepulauan yang banyak terdapat di pesisir timur Pulau Sumatera, selain adanya kebakaran lahan dan subsidensi yang mempercepat laju degradasi lahan juga adanya fenomena abrasi pantai. Pada Gambar 1.5 disajikan kondisi kubah gambut yang masih dalam kondisi asli dan yang sudah mengalami degradasi pada saat ini. Kondisi aktual yang terjadi saat ini di lapangan tidak jauh berbeda seperti yang diilustrasikan pada Gambar 1.4. Kondisi tersebut tidak menutup kemungkinan akan terus terjadi hingga pada tahap “*end state*” jika tidak dilakukan usaha-usaha pencegahan dan restorasi.



Sumber: Hoijer, 2006

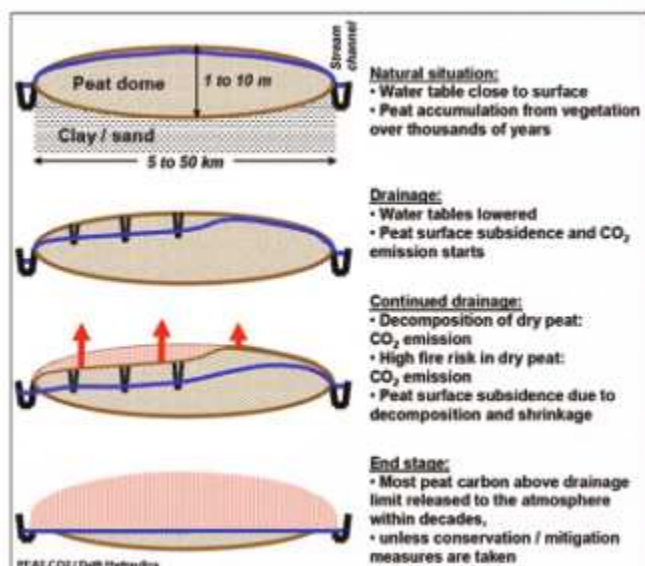
Gambar 1.4 Proses terjadi degradasi lahan gambut



Gambar 1.5 Ilustrasi proses terjadi degradasi lahan gambut kepulauan

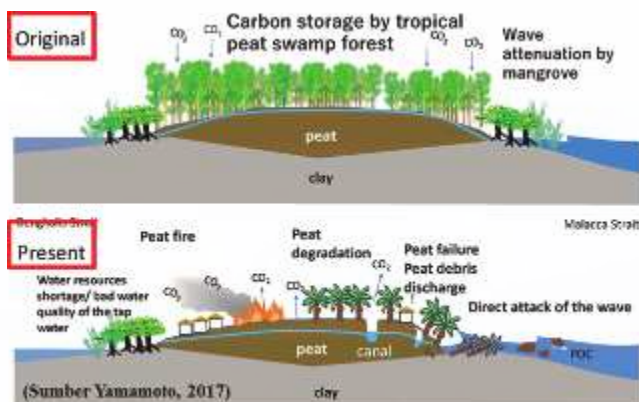
1.5 Restorasi Hidrologi Gambut

Restorasi lahan gambut merupakan usaha untuk mengembalikan fungsi ekosistem gambut ke kondisi alamiahnya, sehingga fungsi ekosistem gambut bisa kembali mendekati fungsinya semula. Lahan gambut yang terdegradasi masih memiliki potensi untuk dikembalikan ke kondisi dan fungsi semula yang selalu basah dan tertutup vegetasi melalui usaha restorasi lahan gambut (Page et al. 2011).



Sumber: Hoijer, 2006

Gambar 1.4 Proses terjadi degradasi lahan gambut



Gambar 1.5 Ilustrasi proses terjadi degradasi lahan gambut kepulauan

1.5 Restorasi Hidrologi Gambut

Restorasi lahan gambut merupakan usaha untuk mengembalikan fungsi ekosistem gambut ke kondisi alamiahnya, sehingga fungsi ekosistem gambut bisa kembali mendekati fungsinya semula. Lahan gambut yang terdegradasi masih memiliki potensi untuk dikembalikan ke kondisi dan fungsi semula yang selalu basah dan tertutup vegetasi melalui usaha restorasi lahan gambut (Page et al. 2011).

Dalam usaha percepatan restorasi lahan gambut di Indonesia yang sangat luas, maka pemerintah Indonesia membentuk badan yang khusus menangani restorasi gambut, yaitu Badan Restorasi Gambut Republik Indonesia (BRG-RI). Pemerintah Republik Indonesia berkomitmen serius untuk merestorasi gambut bekas terbakar dan terdegradasi melalui penerbitan Peraturan Presiden Nomor 1 Tahun 2016 tentang Pembentukan Badan Restorasi Gambut (BRG). Badan non-struktural yang berada di bawah dan bertanggung jawab kepada Presiden ini diberikan tugas pokok dan fungsi untuk mengkoordinasi dan memfasilitasi kegiatan restorasi gambut di 7 (tujuh) provinsi yakni Riau, Jambi, Sumatera Selatan, Kalimantan Barat, Kalimantan Tengah, Kalimantan Selatan dan Papua; dengan target restorasi seluas 2,4 juta hektar pada kurun waktu tahun 2016-2020.

Usaha restorasi lahan gambut dilakukan melalui pendekatan 3-R, yaitu program pembasahan kembali (*Re-wetting*), penanaman kembali (*Re-vegetation*), dan revitalisasi mata pencaharian (*Revitalization of livelihood*) (Dohong 2017). Program *rewetting* yang bertujuan untuk merehabilitasi secara hidrologi lahan gambut ke kondisi alamiahnya dilakukan dengan penyekatan kanal (*canal blocking*), penimbunan kanal, dan pembangunan sumur bor. Teknik penyekatan kanal memungkinkan untuk menghambat kecepatan aliran dan menampung air di kanal sehingga terinfiltrasi untuk membasahi lahan gambut (Dohong, 2017, Ritzema et al. 2014).

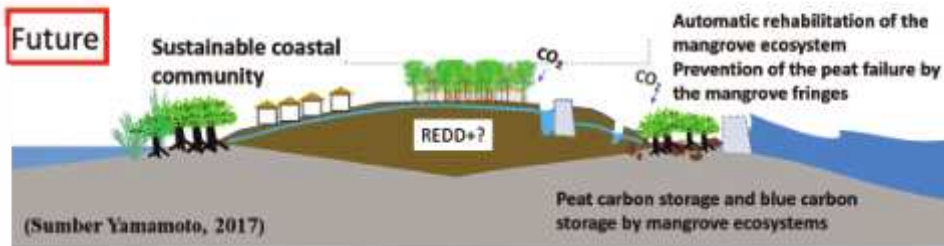
Penanaman kembali tutupan pohon sangat berguna untuk menjaga lahan gambut baru dalam kondisi tetap lembab atau basah, dan spesies yang paling sesuai untuk ditanam di area yang dibasahi adalah yang termasuk dalam flora hutan rawa gambut asli. Spesies semacam itu akan diidentifikasi di lokasi studi. Kegiatan revegetasi gambut dilaksanakan melalui intervensi aktif seperti: pembuatan persemaian, pembibitan dan penanaman; maupun

intervensi non-aktif seperti mempromosi regenerasi alami (*natural regeneration*) dan promosi agen penyebar benih (*seeds dispersal mechanism*) (Blackham et al. 2014).

Kegiatan revitalisasi sumber mata pencaharian masyarakat meliputi pengembangan kegiatan sumber mata pencaharian berkelanjutan dan ramah gambut baik yang berbasis air (*water-based livelihoods*), berbasis lahan (*land-based livelihoods*), dan berbasis jasa lingkungan (*environmental services-based livelihoods*). Contoh jenis mata pencaharian berbasis air adalah perikanan, *silvofishery* (budidaya perikanan di kawasan hutan), berbasis lahan seperti pertanian lahan tanpa bakar (PLTB), hortikultura, paludikultur, dan yang berbasis jasa lingkungan seperti ekowisata dan perdagangan karbon (Dohong et al. 2017).

Pada Gambar 1.6 diilustrasikan kondisi lahan gambut yang sedang dalam proses restorasi baik restorasi ekosistem gambut maupun restorasi ekosistem mangrove yang pada mulanya dalam kondisi terdegradasi seperti ditunjukkan pada Gambar 1.5. Restorasi di lahan gambut dilakukan dengan menggunakan pendekatan 3-R sebagaimana telah diuraikan sebelumnya, sedangkan restorasi ekosistem mangrove dilakukan dengan pendekatan *soft countermeasure* dan *hard countermeasure*. Pendekatan *soft countermeasure* dilakukan dengan penanaman vegetasi berupa mangrove di sepanjang pesisir pantai untuk melindungi garis pantai supaya tidak terjadi abrasi dan sebagai habitat biota laut. Pendekatan *hard countermeasure* dilakukan dengan pembuatan struktur bangunan pantai bisa berupa pemecah gelombang (*breakwater*) yang berfungsi untuk meredam energi gelombang dan bisa juga berupa groin yang berfungsi untuk menangkap sedimen suspensi yang merupakan media yang bagus untuk pertumbuhan mangrove. Kedua pendekatan tersebut bisa mempercepat proses restorasi ekosistem mangrove jika dilakukan secara bersamaan, dan menjadi tidak efektif jika dilakukan salah

satu saja khususnya untuk pantai-pantai yang terbuka dengan gelombang dan arus cukup besar. Pohon mangrove pada tahap awal tanam belum cukup kuat terhadap hempasan gelombang dan arus, oleh karena itu perlu disertai dengan struktur bangunan pelindung pantai.



Gambar 1.6 Ilustrasi proses restorasi gambut

1.6 Restorasi Lahan Gambut

Lahan gambut yang sudah rusak atau terdegradasi akibat dari dikeringkan untuk keperluan tertentu akan terus menerus mengalami subsiden, emisi karbon dan kebakaran lahan (Holden et al. 2006). Gangguan ekosistem gambut umumnya dipicu oleh kegiatan penebangan kayu (*logging*), alih guna lahan (konversi) ke peruntukan lain (hutan tanaman, pertanian, perkebunan dan transmigrasi) yang disertai dengan pembangunan jaringan kanal drainase secara berlebihan (Bonn et al. 2016). Akibatnya gambut mengalami kekeringan dan rentan terbakar. Penebangan hutan rawa gambut dan pembangunan drainase buatan di lahan gambut menyebabkan air di lahan gambut terkuras secara berlebihan sehingga menyebabkan gambut sulit untuk dibudidayakan dan kering serta mudah terbakar. Lahan gambut yang sudah terdegradasi dari kondisi naturalnya akan menurun pula fungsinya sebagai penyimpan karbon dan pengaturan iklim, habitat makhluk hidup untuk biodiversiti, penyimpan cadangan air (Simil et al.). Mengingat lahan gambut memegang peranan yang sangat penting untuk menjaga kelestarian lingkungan hidup dan alam

sekitarnya, maka lahan gambut yang sebagian besar sudah terdegradasi, mendesak untuk segera direstorasi.

Mengingat lahan gambut yang masih alami terdiri dari hampir 90% air dan 10% sisanya merupakan sisa bahan tanaman yang membusuk (Jaenicke et al. 2010), maka pengembalian fungsi hidrologi (restorasi hidrologi) memegang peranan yang sangat penting untuk proses restorasi lahan gambut tropis. Restorasi lahan gambut terdegradasi dimulai dengan mengembalikan permukaan air untuk membasahi permukaan agar dapat mengendalikan api dan memulai reboisasi. Strategi penyekatan kanal merupakan cara potensial untuk mencapai hal ini. Jika kanal-kanal tersebut disekat dan pengatusan air bisa dikendalikan, lahan gambut akan menjadi lebih basah dan akan mencapai keseimbangan baru setelah beberapa tahun, sehingga emisi dan kebakaran lahan bisa berkurang (Giesen and Nirmala 2018).

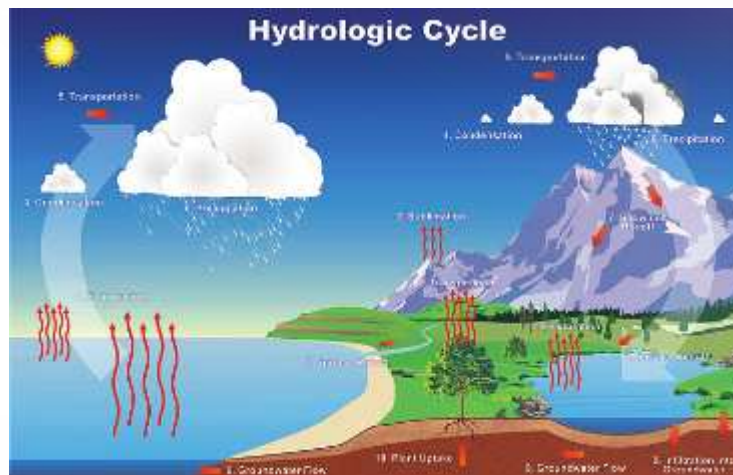
Menjaga lahan gambut senantiasa selalu basah merupakan kunci utama dalam usaha restorasi hidrologi lahan gambut yang sudah terdegradasi (Rahman et al. 2017), (Ballard et al. 2011). Jika lahan gambut sudah terpulihkan kembali kondisi hidrologinya melalui restorasi hidrologi, maka secara perlahan restorasi lahan gambut akan terbentuk. Kondisi ini akan dipercepat dengan usaha penanaman kembali pohon-pohon asli tanaman gambut dan menjaga secara sosial-ekonomi kemasyarakatannya. Oleh karena itu, kegiatan restorasi yang terintegrasi dengan penataan sistem tata air yang bagus diharapkan restorasi lahan gambut ke kondisi alamiahnya akan semakin cepat terwujud.



BAB 2. HIDROLOGI LAHAN GAMBUT

2.1 Siklus Hidrologi

Siklus hidrologi merupakan proses yang berlangsung secara terus menerus di mana air yang berada di bumi bergerak ke atmosfer dan akan kembali ke bumi lagi. Secara keseluruhan jumlah air yang ada di planet bumi ini relatif tetap dari masa ke masa, yang berubah adalah distribusinya secara spasial dan temporal. Air di bumi mengalami suatu siklus melalui serangkaian peristiwa yang berlangsung terus menerus, dimana kita tidak tahu kapan dan dari mana berawal nya dan kapan pula akan berakhir. Proses perputaran tersebut dinamakan siklus hidrologi. Siklus hidrologi merupakan proses yang berlangsung secara terus menerus di mana air yang berada di bumi bergerak ke atmosfer dan akan kembali ke bumi lagi. Pada Gambar 2.1. diilustrasikan siklus hidrologi beserta komponen-komponen dari siklus hidrologi. Air yang berada di permukaan tanah, sungai, danau dan laut akan bergerak menuju atmosfer dengan adanya proses penguapan (*evaporation/ evapotranspiration*). Air yang menguap tersebut kemudian mengalami proses kondensasi (*condensation*) di udara yang kemudian membentuk gumpalan – gumpalan yang dikenal dengan istilah awan. Awan yang terbentuk kemudian jatuh kembali ke bumi dalam bentuk hujan atau salju yang disebabkan oleh adanya perubahan iklim dan cuaca (*precipitation*). Hujan yang jatuh sebagian ditahan oleh tanaman dan sebagian lagi jatuh ke permukaan tanah. Air hujan yang jatuh ke permukaan tanah akan meresap ke dalam tanah (*infiltration*) dan akan mengalir menjadi aliran permukaan (*surface runoff*) sebagai pengisi danau, sungai dan cekungan tanah. Air dari proses infiltrasi akan mengalir di dalam tanah (*percolation*) dan mengisi air tanah yang nantinya akan keluar sebagai mata air atau akan mengalir ke sungai yang pada akhirnya akan mengalir menuju ke laut (Triatmogjo, 2010).



(Sumber: www.srh.noaa.gov/jetstream//atmos/hydrocycle_max.htm)

Gambar 2.1 Ilustrasi proses siklus hidrologi

2.2 Curah Hujan

Presipitasi adalah turunnya air dari atmosfer permukaan bumi yang biasa berupa hujan, hujan salju, kabut, embun, dan hujan es. Di daerah tropis seperti Indonesia, yang memberikan sumbangan paling besar adalah hujan. Seringkali hujanlah yang dianggap sebagai presipitasi yang selanjutnya digunakan istilah hujan untuk menggantikan presipitasi. Hujan berasal dari uap air di atmosfer sehingga bentuk dan jumlahnya dipengaruhi oleh faktor klimatologi seperti angin temperatur dan tekanan atmosfer (Triatmodjo, 2010). Curah hujan adalah salah satu unsur iklim yang penting bagi aktivitas manusia, seperti pertanian dan hidrologi.

Kuantitas curah hujan memiliki peranan yang sangat penting dalam rangka menjaga lahan gambut tetap basah dan mencegah terjadinya kebakaran. Data historis menunjukkan bahwa kebakaran lahan gambut terjadi ketika bulan-bulan kering dimana curah hujannya sangat terbatas. Prasasti et al. (2012) menyatakan curah hujan merupakan faktor iklim yang berpengaruh secara tidak langsung terhadap kebakaran hutan dan lahan, dikarenakan mempengaruhi kondisi kelembaban bahan bakar. Untuk analisis neraca air di lahan gambut pada suatu KHG/Sub-KHG dibutuhkan data hujan dalam format harian rerata kawasan, dengan panjang data minimal 1 tahun, sedangkan untuk perencanaan, dibutuhkan minimal 10 tahun data runtun waktu (*time series*).

2.2.1 Karakteristik Hujan

Karakteristik hujan yang penting untuk diketahui dalam kaitannya dengan analisis hidrologi secara umum adalah:

- 1) Tinggi/kedalaman hujan. Jumlah atau kedalaman hujan yang terjadi selama durasi hujan dan dinyatakan dalam ketebalan air di atas permukaan datar, dalam mm.
- 2) Intensitas hujan. Laju hujan atau tinggi hujan persatuan waktu (mm/menit, mm/jam).
- 3) Durasi/lama hujan. Lamanya suatu kejadian hujan yang biasa dalam satuan menitan, jam-jaman, atau harian.
- 4) Frekuensi kejadian hujan. Frekuensi kejadian atau besarnya kemungkinan suatu besaran hujan disamai atau dilampaui biasanya dinyatakan dengan kala ulang (*return period*) T , misalnya sekali dalam 2 tahun.

2.2.2 Alat Ukur Hujan

Alat pengukur hujan yang ada saat ini bisa dikelompokkan menjadi alat ukur manual dan alat ukur otomatis. Pada Gambar 2.2 ditunjukkan model alat penakar hujan otomatis dan alat penakar hujan manual.

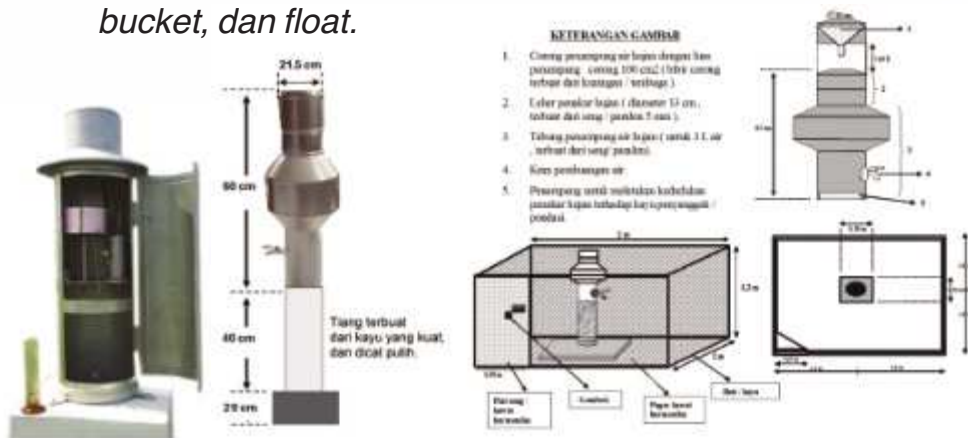
a. Alat Ukur Hujan Manual (*Manual Raingauge*)

Alat ini digunakan untuk menampung air hujan kemudian dicatat secara manual. Penakar hujan jenis ini menampung air hujan selama 24 jam. Biasanya alat ini dibuka dan diukur secara teratur jumlah hujannya pada jam 09:00 dan dicatat sebagai hujan yang terjadi sehari sebelumnya pada formulir yang telah ditetapkan. Dengan cara ini, kedalaman hujan yang diperoleh adalah kedalaman hujan total yang terjadi selama satu hari (24 jam). Berapa lama dan jam berapa terjadinya hujan tidak diketahui. Data hujan ini banyak bermanfaat untuk sektor pertanian dan perkebunan, namun kurang bermanfaat untuk analisis kejadian banjir. Hujan yang mengakibatkan banjir

biasanya berdurasi pendek, maka diperlukan data hujan dengan durasi waktu pendek, misalnya 5 menit, 15 menit, dan seterusnya yang hanya dapat diperoleh dari penakar hujan otomatis. Namun demikian, data ini bisa digunakan untuk analisis neraca air.

b. Alat Pencatat Hujan Otomatis (*Automatic Raingauge*)

Alat ini mengukur dan mencatat hujan secara menerus. Hujan tidak perlu dicatat setiap hari karena alat ini dilengkapi dengan pencatat jumlah akumulasi hujan terhadap waktu dalam bentuk grafik. Ada tiga jenis alat penakar hujan otomatis, yaitu *weighing bucket*, *tipping bucket*, dan *float*.



Sumber: simantu.pu.go.id

Gambar 2.2 Alat penakar hujan otomatis Hilman (kiri) dan penakar hujan manual Ombrometer (kanan)

2.2.3 Pengolahan Data Hujan

Pengolahan data hujan untuk analisis hidrologi atau perhitungan neraca air lebih lanjut terdiri atas pemeriksaan data, melengkapi data menentukan rata-rata tebal hujan.

1. Pemeriksaan Data/ *Screening Data*

Sebelum melakukan analisa hidrologi atau perhitungan neraca air, baik data debit maupun data hujan perlu

diperiksa atau diuji keandalannya melalui pemeriksaan secara manual ataupun secara statistik.

A. Pemeriksaan Data Secara Manual

Pemeriksaan data ini dilakukan untuk mengetahui segala kemungkinan-kemungkinan kesalahan sebagai berikut: a) kesalahan ketik atau bergesernya koma, b) kesalahan memasukkan atau membaca data, c) harga maksimum tidak realistis atau sangat kecil.

Berikut ini diuraikan pemeriksaan rentetan data-data dalam satu pos pencatat data secara manual. Pemeriksaan hujan harian maksimum tahunan terhadap hujan bulanan,

- a) Hujan harian maksimum tahunan lebih kecil dari data hujan bulannya, data diterima,
- b) Pada bulan yang bersangkutan tidak ada data bulanan maupun jumlah hari hujan, data diragukan,
- c) Besar data hujan harian maksimum lebih besar dari jumlah hujan bulanan, data ditolak.

Pemeriksaan hujan harian maksimum tahunan terhadap bulan basah,

- a) Data hujan harian maksimum tahunan terjadi pada bulan basah, data diterima,
- b) Data hujan bulanan pada bulan basah tidak ada yang kosong, data diterima,
- c) Data hujan harian maksimum tahunan terjadi pada bulan kering, data ditolak,
- d) Tidak ada data bulanan pada bulan terjadinya hujan maksimum, data diterima.

Pemeriksaan hujan harian tahunan sama atau lebih

besar dari 400 mm, diperiksa terhadap hujan bulanannya

- a) Hujan bulanannya lebih besar dari hujan harian yang terjadi, data diterima,
- b) Hujan bulanannya hampir sama dengan hujan harian, data diragukan,
- c) Tidak ada data hujan bulanan, data diragukan,
- d) Hujan bulanan lebih kecil, ada kemungkinan salah ketik, data ditolak.

Pemeriksaan hujan harian maksimum tahunan sama atau lebih besar dari 400, diperiksa terhadap hujan harian sebelum dan sesudahnya.

- a) Dapat diterima apabila : $R \geq 400$ mm, terdapat pada data hujan kecuali diragukan
- b) Dapat diragukan apabila : Terjadinya angka-angka di atas 400 mm lebih dari sekali dalam kurun waktu 3 hari,
- c) Hari-hari sebelumnya tidak ada hujan, ada kemungkinan angka yang lebih besar dari 400 mm merupakan akumulasi dari hujan sebelumnya.
- d) Ditolak : jika tidak terdapat dalam hujan harian.

B. Pemeriksaan Data Secara Statistik

Pemeriksaan data secara statistik salah satunya bisa dilakukan dengan melakukan uji kepanggahan (*uji homogenitas*). Konsistensi dari pencatatan hujan diperiksa dengan menggunakan metode kurva massa ganda (*double mass curve*). Metode ini membandingkan hujan tahunan kumulatif di stasiun A terhadap stasiun referensi. Stasiun referensi biasanya adalah nilai rata-rata dari beberapa stasiun hujan di dekatnya. Nilai kumulatif tersebut digambarkan pada suatu koordinat kartesian x-y dan kurva yang terbentuk

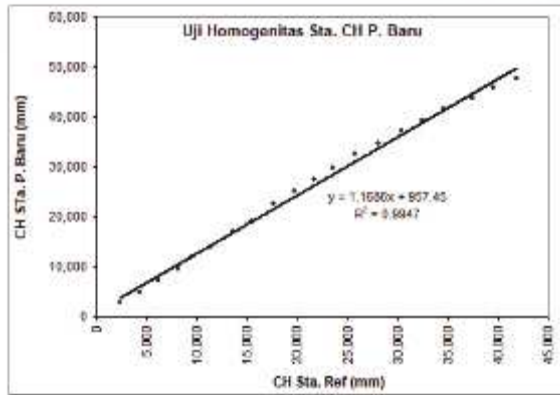
diperiksa untuk melihat perubahan kemiringan. Apabila garis yang terbentuk lurus berarti pencatatan di stasiun A adalah konsisten, dan apabila kemiringan kurva patah atau berubah pencatatan di stasiun A tidak konsisten dan perlu dikoreksi. Koreksi dilakukan dengan mengalikan data setelah kurva berubah

- a) alat ganti dengan alat yang berspesifikasi lain,
- b) perubahan lingkungan yang mendadak,
- c) lokasi dipindahkan.

Pada Tabel 2.1. ditunjukkan contoh analisis kepenggahan data hujan pada stasiun Pekanbaru. Uji kepenggahan data (uji homogenitas) dilakukan dengan menggunakan stasiun referensi rata-rata dari 3 buah stasiun hujan di sekitarnya, yaitu Stasiun Buatan, Kandis dan Petapahan Baru (Gambar 2.3). Berdasarkan analisis terlihat bahwa kurva yang dihasilkan adalah lurus, yang berarti bahwa data pencatatan hujan di Stasiun Pekanbaru adalah konsisten (Sutikno and Handayani 2017).

Tabel 2.1 Uji Homogenitas Stasiun Curah Hujan Pekanbaru

NO	Tahun	Sta. CH Pekanbaru	Rerata Sta. CH Referensi	Kum Sta. CH Pekanbaru	Kumulatif Sta. CH Referensi
1	1982	1960	2250	47676	41834
2	1983	1886	2170	45716	39584
3	1984	2236	2857	43830	37414
4	1985	2331	2040	41594	34557
5	1986	2157	2106	39264	32517
6	1987	2406	2301	37106	30411
7	1988	2051	2401	34701	28111
8	1989	2911	2165	32650	25710
9	1990	2200	1901	29740	23546
10	1991	2389	1899	27539	21645
11	1992	2698	2103	25150	19745
12	1993	3286	2171	22452	17642
13	1994	2176	1894	19166	15472
14	1995	2961	2160	16990	13577
15	1996	2115	2067	14029	11417
16	1997	2274	1230	11913	9350
17	1998	2496	1991	9639	8120
18	1999	2195	1833	7143	6129
19	2000	2196	1928	4948	4296
20	2001	2752	2368	2752	2368



Sumber: (Sutikno and Handayani 2017)

Gambar 2.3 Uji homogenitas stasiun curah hujan Pekanbaru

2. Melengkapi data

Data hujan yang diperoleh dan dikumpulkan dari institusi pengelolanya, perlu mendapatkan perhatian secukupnya. Beberapa kemungkinan kesalahan dapat terjadi. Kesalahan (kekurangan) yang paling banyak dijumpai adalah tidak lengkapnya data, banyaknya bagian-bagian data yang hilang atau rusak. Keadaan seperti ini sangat mengganggu untuk kepentingan analisis hidrologi lebih lanjut.

Agar informasi yang ada tidak hilang, maka diperlukan suatu cara untuk memperkirakan data tersebut. Cara untuk mengisi data yang hilang tersebut itu didasarkan pada stasiun-stasiun terdekat di sekitar stasiun yang datanya hilang. Ada beberapa cara yang dapat digunakan untuk mengisi/ memprediksi data hujan yang hilang. Cara-cara tersebut pada umumnya didasarkan pada data hujan stasiun-stasiun terdekat yang terdapat di sekitar stasiun yang datanya hilang.

A. Metode Aritmatik

Prediksi/prakiraan data yang hilang berdasarkan cara ini dinyatakan sebagai berikut (Garg, 1987) :

$$P_x = \frac{P_A + P_B + P_C}{3} \dots\dots\dots (2-1)$$

dengan P_x adalah hujan di stasiun X yang diperkirakan (mm), P_A , P_B , P adalah hujan di stasiun A, B dan C (mm).

B. Normal Ratio Method

Cara ini seperti rata-rata aljabar, yaitu didasarkan pada tiga buah stasiun yang ada disekitarnya. Cara ini hanya boleh digunakan apabila variasi ruang hujan (spatial, areal variation) tidak terlalu besar. Adapun cara ini

$$P_x = \frac{1}{n} \left(N_x \cdot \frac{P_A}{N_A} + N_x \cdot \frac{P_B}{N_B} + N_x \cdot \frac{P_C}{N_C} \right) \dots\dots\dots (2-2)$$

dengan P_x adalah hujan pada stasiun X yang diperkirakan (mm), N_x adalah hujan normal tahunan di stasiun X (mm), N_A , N_B , N_C adalah hujan normal tahunan di stasiun A, B dan C (mm), P_A , P_B , P_C adalah hujan di stasiun A, B dan C (mm), dan n adalah jumlah stasiun referensi.

C. Reciprocal Method

Cara ini dianggap lebih baik, karena memanfaatkan jarak antar stasiun sebagai faktor koreksi (weighting factor). Hal ini karena korelasi antara dua stasiun hujan akan makin kecil dengan makin besarnya jarak antar stasiun tersebut. Cara ini digunakan apabila dalam DAS tersebut terdapat lebih dari dua stasiun hujan. Bentuk umum dari rumusan ini adalah (Sri Harto, 1993) :

$$P_x = \frac{\frac{P_A}{(d_{xA})^2} + \frac{P_B}{(d_{xB})^2} + \frac{P_C}{(d_{xC})^2}}{\frac{1}{(d_{xA})^2} + \frac{1}{(d_{xB})^2} + \frac{1}{(d_{xC})^2}} \dots\dots\dots (2-3)$$

dengan P_x adalah hujan pada sta X (mm), d_{xA} , d_{xB} , d_{xC} adalah jarak antara sta X dan sta acuan A, B dan C (km), P_A , P_B , P_C adalah hujan pada sta A, B dan C (mm).

3. Menentukan Rerata Tebal Hujan

Bila dalam suatu areal terdapat beberapa pengamatan pengukuran curah hujan maka curah hujan yang digunakan adalah curah hujan kawasan. Untuk mencari besarnya curah hujan kawasan dari beberapa titik pengamatan dapat dilakukan dengan cara: cara tinggi rerata, Polygon Thiessen, dan Isohyet.

A. Cara tinggi rata-rata.

Tinggi rata-rata curah hujan didapatkan dengan mengambil harga rata-rata hitung (*arithmetic mean*) dari penakaran pada penakar hujan dalam areal tersebut. Jadi :

$$d = \frac{d_1 + d_2 + \dots + d_n}{n} = \sum_{i=1}^n \frac{d_i}{n} \quad (2-4)$$

Dimana :

d_1, d_2, \dots, d_n = tinggi curah hujan pada pos penakar 1, 2, ..., n

N = banyaknya penakar hujan

d = tinggi curah hujan areal

Cara ini akan memberikan hasil yang dapat dipercaya asalkan pos-pos penakarnya terbagi merata di areal tersebut, dan hasil penakaran masing-masing pos penakarnya tidak menyimpang jauh dari harga rata-rata seluruh pos penakar.

B. Cara Polygon Thiesen

Cara ini didasarkan atas cara rata-rata timbang (*weighted average*). Masing-masing penakar mempunyai daerah pengaruh yang dibentuk dengan menggambarkan garis-garis sumbu tegak lurus terhadap garis penghubung antara dua pos penakar. Dari gambar akan dapat diketahui luasan pengaruh masing-masing alat penakar hujan tersebut. Untuk masing-masing penakar hujan dengan luas daerah pengaruhnya maka curah hujan areal dapat dicari dengan rumus :

$$d = \frac{A_1.d_1 + A_2.d_2 + \dots + A_n.d_n}{A} \quad (2-5)$$

dimana,

A	=	luas areal
d	=	tinggi hujan rata-rata areal
d ₁ , d ₂ , ..., d _n	=	tinggi curah hujan di pos 1, 2, ..., n
A ₁ , A ₂ , ..., A _n	=	luas daerah pengaruh pos 1, 2, ..., n

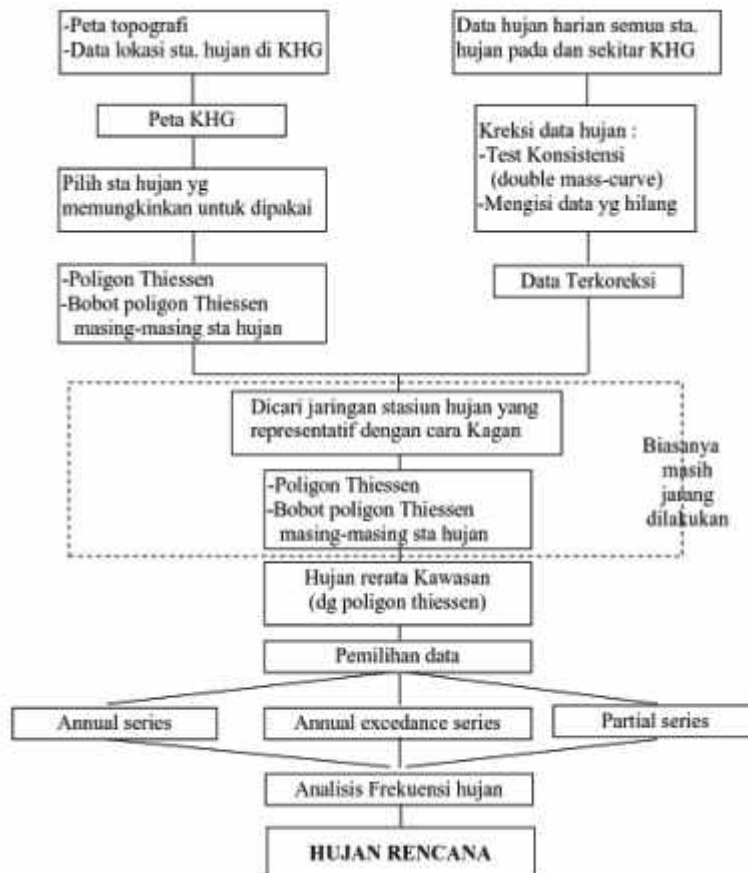
C. Cara Garis Isohyet

Cara garis Isohyet harus diketahui tingggi curah hujan masing-masing pos penakar, kemudian dibuat garis kontur tinggi curah hujan. Kemudian luas bagian diantara isohyet-isohyet yang berdekatan diukur dan harga rata-ratanya dihitung sebagai harga rata-rata timbang dari nilai kontour. Ini adalah cara yang paling teliti, tetapi membutuhkan jaringan pos penakar yang relatif lebih padat guna memungkinkan untuk membuat garis-garis isohyet.

2.2.4 Hujan Rencana

Hujan rencana adalah data hujan yang digunakan untuk analisis hidrologi atau perhitungan neraca air lebih lanjut. Hujan rencana

menggunakan metode Polygon Thiessen atau metode aritmatika. Prosedur penentuan hujan rencana sebagaimana disajikan pada Gambar 2.4. Dalam hal ini, analisis frekuensi hujan tidak perlu dilakukan, jika tidak diperlukan hujan rencana dengan kala ulang tertentu



Gambar 2.4 Prosedur menentukan hujan rencana

2.2.5 Data Hujan Satelit

Kendala yang seringkali dihadapi dalam analisis hidrologi secara umum adalah ketersediaan data hujan yang terbatas bahkan tidak ada, karena tidak dijumpai alat pengukur hujan di lapangan dari instansi terkait. Terlebih lagi pada lokasi lahan gambut yang biasanya cukup jauh dari kawasan perkotaan, menyebabkan kurang tersedianya data karena tidak adanya alat ukur di sekitar areal kajian. Penggunaan data hujan satelit menjadi alternatif untuk mengatasi permasalahan tersebut. Beberapa hasil studi telah membuktikan bahwa data satelit

cukup akurat untuk pemodelan dan merupakan salah satu komponen penting dalam analisis neraca air. Hujan rencana untuk analisis hidrologi berupa hujan rerata kawasan hasil hitungan bisa analisis hidrologi (Sutikno et al. 2017a), (Moffitt et al. 2011). Namun demikian, penggunaan data hujan satelit yang merupakan data potensi hujan di atmosfer perlu dikoreksi terlebih dahulu dengan data pengukuran di lapangan sebelum digunakan lebih jauh.

A. Data Hujan TRMM (*Tropical Rainfall Measuring Mission*)

Tropical Rainfall Measuring Mission (TRMM) merupakan proyek kerjasama luar angkasa antara *National Aeronautics and Space Administration* (NASA) dan *Japan Aerospace Exploration Agency* (JAXA). Salah satu misi NASA ini bertujuan untuk memantau perubahan cuaca global dengan mengobservasi struktur hujan. Selain itu, satelit ini dimaksudkan untuk memonitor dan mempelajari curah hujan daerah tropis dan mempelajari bumi sebagai sistem global (NASDA 2001). Suryanto et al. (2008) dalam penelitian variasi spasio temporal curah hujan Indonesia berbasis observasi satelit TRMM juga menyatakan karakteristik data TRMM mempunyai pola yang sama dengan data observasi di permukaan. Pada penelitian Mamenun et al. (2014) dalam validasi data satelit TRMM 3B42RT pada tiga pola curah hujan di Indonesia menyatakan bahwa perbandingan data satelit TRMM data observasi pada wilayah pola hujan musonal cukup mendekati data hujan observasi.

Pemanfaatan data curah hujan TRMM dikarenakan memiliki beberapa keunggulan seperti kemampuan dalam cakupan wilayah yang luas, kemampuannya dalam memetakan variasi curah hujan spasial dan temporal yang besar serta kemampuannya dalam memberikan data curah hujan dengan

resolusi spasial $0,25^{\circ} \sim 27$ km. Adapun data TRMM dapat digunakan untuk: estimasi data curah hujan dan suhu (Wilby dan Yu 2013; Bowman et al. 2005), modeling hidrodinamik dalam skala besar hidrologi (De Paiva et al. 2013; Comdom et al. 2011) dan efektif digunakan untuk *downscaling* untuk data-data lapangan (Mahmud et al. 2015; Comdom et al. 2011). Satelit TRMM dapat mengukur intensitas curah hujan mulai dari skala tiga jam-an, harian hingga bulanan. Curah hujan dari TRMM tersedia mulai dari tahun 2000 bulan maret sampai saat ini.

Data iklim (curah hujan harian) dari satelit TRMM diperoleh dari [website https://giovanni.gsfc.nasa.gov/giovanni/](https://giovanni.gsfc.nasa.gov/giovanni/). Pengambilan data dilakukan dengan memasukkan titik koordinat atau dengan melakukan select region pada areal penelitian yang ditentukan. Adapun variabel yang dipilih dalam penelitian ini adalah *Near-Real-Time Precipitation Rate* (TRMM_3B42RT v7) dengan units (mm/hr), Temp. Res (3-hourly) Spat.Res (0.25°) dan *Near-Real-Time Precipitation Rate* (TRMM_3B42RT_Daily v7) dengan units (mm/day), Temp. Res (Daily) Spat.Res (0.25°). Sebelum digunakan data TRMM dilakukan validasi terlebih dahulu untuk mengetahui kesesuaian dengan data pengukur curah hujan data hidrologi.

B. CHRIPS (*Climate Hazard InfraRed Precipitation with Station*)

Climate Hazard InfraRed Precipitation with Station (CHRIPS) merupakan salah satu dataset gabungan curah hujan stasiun dan satelit yang dikembangkan oleh *United State Geological Survey* (USGS). CHIRPS memanfaatkan gelombang infrared dan stasiun hujan dengan resolusi spasial 0.05° (per piksel) atau sekitar 5km x 5km. Resolusi 0.05° yang tinggi pada data

curah hujan CHRIPS menjadi keunggulan dibandingkan dengan dataset global lainnya yang umumnya memiliki resolusi 0.5 atau lebih rendah dari 0.5 (Tapiador et al. 2012). Data CHRIPS mencakup hampir semua daratan bumi (50° S–50° N) dan tersedia dalam skala waktu harian, 5 harian, dan bulanan dari tahun 1981 sampai saat ini (Funk et al. 2015b). Data CHRIPS digunakan untuk mengestimasi nilai curah hujan disuatu wilayah serta analisis trend kekeringan pada suatu wilayah. Data CHRIPS tidak terlepas dari permasalahan bias, sehingga perlu divalidasi dan koreksi dengan menggunakan data pengamatan di lapangan.

Data iklim (curah hujan harian) dari satelit CHRIPS diperoleh dari *website* https://developers.google.com/earth-engine/datasets/catalog/UCSB-CHG_CHIRPS_DAILY. Pada penelitian ini pengambilan data dilakukan dengan menggunakan google earth engine perpixel pada areal yang dituju.

2.3 Klimatologi

Data-data klimatologi yang penting untuk analisis neraca air adalah suhu udara, kelembaban relatif, kecepatan angin, dan lama penyinaran matahari. Data-data tersebut bisa didapatkan di stasiun klimatologi terdekat yang biasanya dikelola oleh BMKG (Badan Meteorologi, Klimatologi dan Geofisika). Di beberapa stasiun klimatologi sudah bisa didapatkan datanya secara daring melalui laman <http://dataonline.bmkg.go.id/home>.

Pengambilan data bisa dilakukan dalam rentang bulanan dengan jenis stasiun yang dipilih misalnya adalah UPT. Untuk Provinsi Riau pengambilan data melalui stasiun meteorologi Sultan Syarif Kasim II, sedangkan untuk Provinsi Jambi diambil melalui stasiun meteorologi Sultan Thaha.

Data-data klimatologi seperti data suhu, kelembaban rata-

rata, dan kecepatan angin bisa juga didapatkan melalui laman: <https://giovanni.gsfc.nasa.gov/giovanni/>. Pengambilan data dilakukan dengan memasukkan titik koordinat atau dengan melakukan *select region* pada areal kajian yang ditentukan. Secara lebih rinci tentang data tersebut disajikan pada Tabel 2.2 sebagai berikut.

Tabel 2.2 Variabel data iklim

Variabel	Units	Source	Temp. Res	Spat. Res
Temperature (M2IMNPANA v5.12.4)	°K	MERRA-2 Model	Monthly	0.5 x 0.625°
Relative Humidity (Nighttime/Descending, AIRS-only) (AIRS3STM v006)	Percent	AIRS	Monthly	1°
Relative Humidity (Daytime/Ascending, AIRS-only) (AIRS3STM v006)	Percent	AIRS	Monthly	1°
Surface wind speed (M2TMNXFLX v5.12.4)	m s ⁻¹	MERRA-2 Model	Monthly	0.5 x 0.625°

2.4 Infiltrasi

2.4.1 Karakteristik Infiltrasi

Infiltrasi adalah aliran air ke dalam tanah melalui permukaan tanah. Di dalam tanah air mengalir dalam arah lateral, sebagai aliran antara (interflow) menuju mata air, danau, dan sungai; atau secara vertikal, yang dikenal dengan perkolasi (percolation) menuju air tanah (Triatmodjo, 2010). Gerak air di dalam tanah melalui pori-pori tanah dipengaruhi oleh gaya gravitasi dan gaya kapiler. Gaya gravitasi menyebabkan aliran selalu menuju ke tempat yang lebih rendah, sementara gaya kapiler menyebabkan air bergerak ke segala arah. Air kapiler selalu bergerak dari daerah basah menuju ke daerah yang lebih kering.

Dua parameter penting terkait infiltrasi yaitu kapasitas infiltrasi dan laju infiltrasi, yang dinyatakan dalam mm/jam. Kapasitas infiltrasi

adalah laju infiltrasi maksimum untuk suatu jenis tanah tertentu; sedang laju infiltrasi adalah kecepatan infiltrasi yang nilainya tergantung pada kondisi tanah dan intensitas hujan. Dalam aplikasi di lapangan, laju infiltrasi memiliki bisa dimanfaatkan untuk studi pembuangan limbah cair, evaluasi potensi lahan tanki septik, efisiensi pencucian dan drainase, kebutuhan irigasi, penyebaran air dan imbuan air tanah, dan kebocoran saluran atau bendungan dan kegunaan lain.

Apabila tanah dalam kondisi kering ketika infiltrasi terjadi, kapasitas infiltrasi tinggi karena kedua gaya kapiler dan gravitasi bekerja bersama-sama menarik air ke dalam tanah. Ketika tanah menjadi basah, gaya kapiler berkurang yang menyebabkan laju infiltrasi menurun. Akhirnya kapasitas infiltrasi mencapai suatu nilai konstan, yang dipengaruhi terutama oleh gravitasi dan laju perkolasi (Triatmodjo, 2010).

2.4.2 Faktor yang Mempengaruhi Infiltrasi

Laju infiltrasi dipengaruhi oleh beberapa faktor, yaitu kedalaman genangan dan tebal lapis jenuh, kelembaban tanah, pemadatan oleh hujan, tanaman penutup, intensitas hujan, kegiatan makhluk hidup, unsur organik yang ada pada tanah dan struktur tanah.

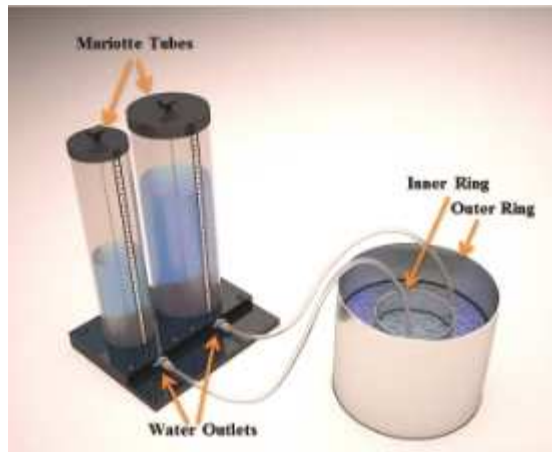
Tanah gambut yang memiliki tekstur remah dari bahan organik memiliki kapasitas infiltrasi yang lebih besar dibandingkan dengan tanah mineral atau yang lebih liat. Hal ini terjadi karena pada tanah gambut terdapat lebih banyak pori-pori dan rongga pada tanah bertekstur remah, sehingga permeabilitasnya pun tinggi. Selain itu, tanah yang sudah jenuh dengan air (kelembaban tinggi) cenderung memiliki kapasitas infiltrasi yang lebih rendah dibandingkan dengan tanah kering. Hal ini terjadi karena pori-pori tanah sudah dipenuhi oleh air, sehingga sulit bagi air yang baru untuk masuk.

Permukaan tanah yang ditutupi banyak vegetasi memiliki kapasitas infiltrasi yang lebih tinggi, hal ini terjadi karena perakaran vegetasi dan serasah yang ada dapat meningkatkan permeabilitas tanah. Oleh karena itu, memperbanyak vegetasi merupakan salah satu solusi untuk mengurangi banjir dan runoff berlebih serta mengkonservasi air. Selain itu, tanah yang memiliki banyak makhluk hidup yang tinggal di dalam tanah seperti cacing, serangga, dan hewan lainnya juga umumnya memiliki permeabilitas yang lebih baik dan meningkatkan laju infiltrasi. Aktivitas hewan-hewan ini di dalam tanah menghasilkan rongga sehingga meningkatkan permeabilitas tanah

2.4.3 Cara Mengukur Infiltrasi

Secara umum ada tiga metode untuk mengukur dan menganalisis besarnya kapasitas infiltrasi. Ketiga metode tersebut antara lain adalah, pengukuran menggunakan infiltrometer, eksperimen menggunakan simulator hujan, dan analisis pemisahan hidrograf aliran dari hujan. Metode pengukuran infiltrasi yang sudah distandarkan oleh Badan Standardisasi Nasional di Indonesia adalah dengan menggunakan infiltrometer cincin ganda (*double ring infiltrometer*).

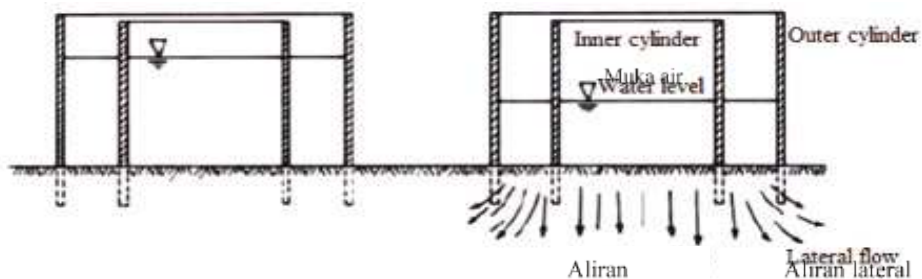
Alat infiltrometer cincin ganda terdiri dari dua silinder dalam dan silinder luar terbuka yang dimasukkan secara manual ke dalam tanah dan kemudian diisi dengan air (Gambar 2.5). Ukuran alat dengan tinggi 50 cm, diameter cincin dalam 30 cm dan diameter cincin luar antara 45 cm sampai dengan 60 cm, terbuat dari besi baja atau logam campuran setebal 3 mm dengan ujung bawah diruncingkan. Tingkat infiltrasi bisa dihitung dengan mengukur volume cairan yang ditambahkan ke cincin bagian dalam untuk mempertahankan level air yang konstan.



Sumber: (Fatehnia 2015)

Gambar 2.5 Sketsa model alat *double-ring infiltrometer*

Pada Gambar 2.6 ditunjukkan potongan melintang alat *double-ring infiltrometer*. Gambar sisi kiri adalah ilustrasi pada saat sebelum dilakukan pengukuran ($t = 0$) dan gambar sisi kanan adalah setelah infiltrasi berlangsung selama beberapa waktu. Silinder luarmdigunakan untuk membuat zona penyangga untuk mengurangi aliran lateral air dari dalam. Silinder dipasang sedalam 10 cm di dalam tanah. Ketinggian air di dalam silinder diukur dengan pengukur titik atau skala biasa yang dipasang di dalam silinder. Perubahan ketinggian air diukur dengan memperhatikan waktu menggunakan *stopwatch* hingga laju infiltrasi mencapai kondisi tunak.



Sumber: <http://coursesonline.iasri.res.in>

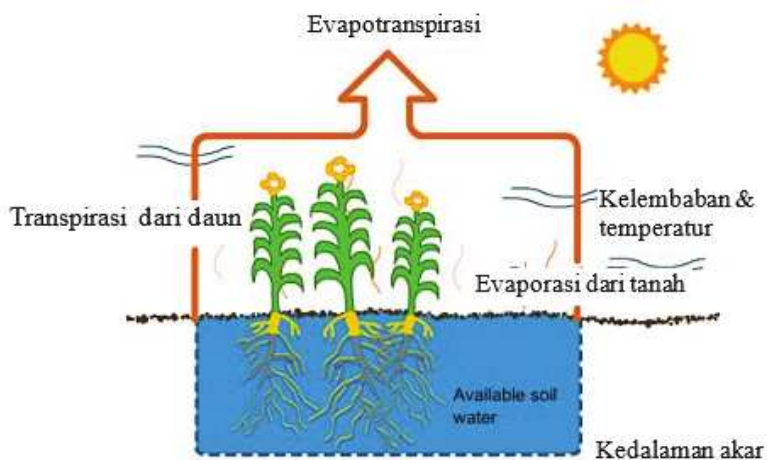
Gambar 2.6 Potongan melintang alat *double-ring infiltrometer*

2.5 Evapotranspirasi

2.5.1 Definisi

Kombinasi dari dua proses terpisah dimana air hilang di satu sisi dari permukaan tanah melalui penguapan (evaporasi) dan di sisi lain dari tanaman melalui transpirasi disebut sebagai evapotranspirasi (ET). Pada Gambar 2.7 ditunjukkan sketsa proses evapotranspirasi. Penguapan adalah proses dimana air cair diubah menjadi uap air (penguapan) dan dikeluarkan dari permukaan penguapan. Air menguap dari berbagai permukaan, seperti danau, sungai, trotoar, tanah, dan vegetasi basah.

Transpirasi terdiri dari penguapan air cair yang terkandung dalam jaringan tanaman dan pembuangan uap ke atmosfer. Tanaman sebagian besar kehilangan airnya melalui stomata. Ini adalah bukaan kecil pada daun tanaman yang dilalui gas dan uap air. Air, bersama dengan beberapa nutrisi, diambil oleh akar dan diangkut melalui tanaman. Penguapan terjadi di dalam daun, yaitu di ruang antar sel, dan pertukaran uap dengan atmosfer dikendalikan oleh celah stomata. Hampir semua air yang diserap hilang melalui transpirasi dan hanya sebagian kecil yang digunakan di dalam tanaman (Allen et al. 1998).



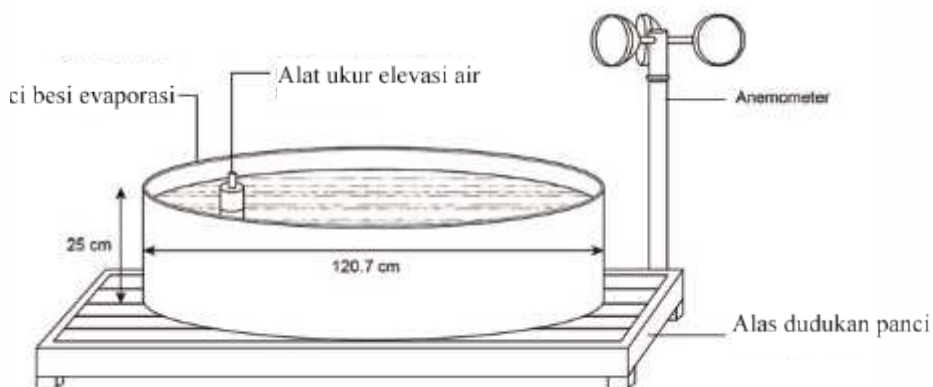
Sumber: (e-Krishi Shiksha)

Gambar 2.7 Sketsa proses evapotranspirasi

2.5.2 Pengukuran Evaporasi dan Transpirasi

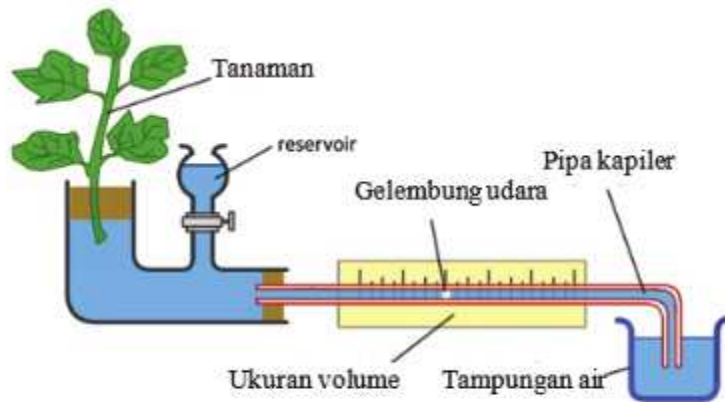
Pengukuran evapotranspirasi dilakukan secara terpisah, yaitu menggunakan panci evaporasi (evaporimeter) untuk mengukur penguapan dan menggunakan potometer untuk mengukur transpirasi. Alat ukur evaporimeter terdiri dari sebuah panci luar berdiameter 120,7 cm dan panci dalam ukuran 25,4 cm terbuat dari lembaran besi galvanis ukuran 20 gauge dengan sumbu pipa berukuran diameter 10 cm dan tinggi 30 cm ditempatkan di dalam tangka (Gambar 2.8). Jumlah air yang menguap dianalisis dari perubahan tinggi air dalam panci selama 24 jam, yang diamati setiap jam 07:00 WIB.

Alat ukur potometer (Gambar 2.9) adalah alat untuk mengukur kecepatan penguapan air melalui daun secara kuantitatif. Pada dasarnya, alat potometer terdiri atas tiga bagian, yaitu tabung kapiler Panjang, reservoir, dan tabung untuk menahan pancaran cahaya. Cara kerja alat ini adalah dengan gelembung dimasukkan ke tabung kapiler. Laju transpirasi tanaman dianalisis dari jarak gelembung yang bergerak dalam waktu tertentu. Hasil pengukuran secara teliti dapat dinyatakan dalam $\text{ml}/\text{cm}^2/\text{detik}$, yaitu jumlah penguapan dari tiap permukaan daun luas 1 cm^2 tiap detik.



Sumber: (Alsumaiei 2020)

Gambar 2.8 Sketsa metode pengukuran evaporasi



Sumber: <http://www.passmyexams.co.uk/>

Gambar 2.9 Sketsa metode pengukuran transpirasi menggunakan potometer

2.5.3 Analisis dan Perhitungan Evapotranspirasi

Analisis evaporasi bisa dilakukan dengan menggunakan Model Evaporasi Penman-Modifikasi. Analisis Evapotranspirasi dapat dihitung dengan rumus-rumus teoritis-empiris dengan mempertimbangkan beberapa faktor klimatologi, yaitu temperatur, penyinaran matahari, kelembaban udara, jumlah hari hujan, dan kecepatan angin. Berikut ini adalah persamaan-persamaan metode Penman modifikasi untuk analisis evapotranspirasi.

$$ET_0 = c \times [W \times R_n + (1W) \times f(u) \times (e_a - e_d)] \quad (2.6)$$

dengan:

e_a = Tekanan uap jenuh (mbar), (lihat Tabel 2.3),
 t = Temperatur berdasarkan data dari stasiun pengamatan,
 e_d = Tekanan uap nyata (mbar), dengan:
 $e_d = RH \cdot e_a \quad (2.7)$

RH = Kelembaban udara relatif (%).
 $f(U)$ = Fungsi angin (m/s), dengan:
 $f(U) = 0,27 \times (1 + U_2 / 100) \quad (2.8)$

U_2 = Kecepatan angin pada tinggi pengukuran 2 m ($km/hari$).

U = Kecepatan angin (km/jam).

- X** = Tinggi Pengukuran (m).
I W = Faktor pembobot. (2.9)
W = Nilai yang diberikan pada Tabel 2.5
Rn = $Rns - Rnl$ (2.10)
Rns = Radiasi gelombang pendek netto ($mm/hari$), dimana:
Rns = $(1 - r) \times Rs$ (2.11)
Rs = Radiasi sinar matahari ($mm/hari$), dengan:
Rs = $(0,25 + 0,54 n/N) \times Ra$ (2.12)
Ra = Radiasi ekstra tereksterial / nilai angot (lihat Tabel 2.7).
n/N = Perbandingan penyinaran matahari dalam 1 hari (%).
r = Koefisien pemantulan / koefisien albedo (lihat Tabel 2.6).
Rnl = Radiasi gelombang panjang netto ($mm/hari$), dimana:
Rnl = $f(T) \times f(ed) \times f(n/N)$ (2.13)
f(T) = $1,99 \times 10^{-9} \times (T + 273)^4$ (2.14)
T = Temperatur rata-rata ($^{\circ}C$)
f(ed) = Fungsi tekanan uap nyata ($km/hari$), dengan:
f(ed) = $0,34 - 0,044 ed^{0,5}$ (2.15)
f(n/N) = $0,1 + 0,9 \times (n/N)$ (2.16)
C = Koefisien bulanan untuk rumus Penman (lihat Tabel 2.4)

Tabel 2.3 Tabel ea dalam mbar ($^{\circ}C$)

Temperatur $^{\circ}C$	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
ea (m bar)	6,1	6,6	7,1	7,6	8,1	8,7	9,3	10,0	10,7	11,5
Temperatur $^{\circ}C$	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19
ea (m bar)	12,3	13,1	14,0	15,0	16,1	17,0	18,2	19,4	20,6	22,0
Temperatur $^{\circ}C$	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29
ea (m bar)	23,4	24,9	26,4	28,1	29,8	31,7	33,6	35,7	37,8	40,1
Temperatur $^{\circ}C$	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39
ea (m bar)	42,4	44,9	47,6	50,3	53,2	56,2	59,4	62,8	66,3	69,9

Tabel 2.4 Angka Koefisien Bulanan (C) untuk Rumus Penman

Bulan	C	Bulan	C
Januari	1,1	Juli	0,9
Februari	1,1	Agustus	1,0
Maret	1,0	September	1,1
April	0,9	Oktober	1,1
Mai	0,9	November	1,1
Juni	0,9	Desember	1,1

Tabel 2.5 Harga W sesuai Temperatur dan Ketinggian

Temperatur °C	2	4	6	8	10	12	14	16	18	20
W,pada ketinggian (m)										
0	0,43	0,46	0,49	0,52	0,55	0,58	0,61	0,64	0,66	0,68
500	0,45	0,48	0,51	0,54	0,57	0,60	0,62	0,65	0,67	0,70
1000	0,46	0,49	0,52	0,55	0,58	0,61	0,64	0,66	0,69	0,71
2000	0,49	0,52	0,55	0,58	0,61	0,64	0,66	0,69	0,71	0,73
3000	0,52	0,55	0,58	0,61	0,64	0,66	0,69	0,71	0,73	0,75
4000	0,55	0,58	0,61	0,64	0,66	0,69	0,71	0,73	0,76	0,78
Temperatur °C	22	24	26	28	30	32	34	36	38	40
W,pada ketinggian (m)										
0	0,71	0,73	0,75	0,77	0,78	0,80	0,82	0,83	0,84	0,85
500	0,72	0,74	0,76	0,78	0,79	0,81	0,82	0,84	0,85	0,85
1000	0,73	0,75	0,77	0,79	0,80	0,82	0,83	0,85	0,86	0,87
2000	0,75	0,77	0,79	0,81	0,82	0,84	0,85	0,86	0,87	0,88
3000	0,77	0,79	0,81	0,82	0,84	0,85	0,86	0,88	0,88	0,89
4000	0,79	0,81	0,83	0,84	0,85	0,86	0,88	0,89	0,90	0,90

Tabel 2.6 Koefisien Pemantulan (Koefisien Albedo)

Sifat Permukaan	R
Air Terbuka	0,06
Batu	0,12-0,15
Rumput	0,08-0,09
Tanaman Hijau	0,2

Tabel 2.7 Ra dalam Evaporasi Ekuivalen (mm/hari) untuk Belahan Bumi Utara

Lintang (°)	Belahan bumi utara											
	Jan	Feb	Mar	Apr	Mei	Jun	Jul	Agt	Sep	Okt	Nop	Des
50	3,8	6,1	9,4	12,7	15,8	17,1	16,4	14,1	10,9	7,4	4,5	3,2
48	4,3	6,6	9,8	13	15,9	17,2	16,5	14,3	11,2	7,8	5	3,7
46	4,9	7,1	10,2	13,3	16	17,2	16,6	14,5	11,5	8,3	5,5	4,3
44	5,3	7,6	10,6	13,7	16,1	17,2	16,6	14,7	11,9	8,7	6	4,7
42	5,9	8,1	11	14	16,2	17,3	16,7	15	12,2	9,1	6,5	5,2
40	6,4	8,6	11,4	14,3	16,4	17,3	16,7	15,2	12,5	9,6	7	5,7
38	6,9	9	11,8	14,5	16,4	17,2	16,7	15,3	12,8	10	7,5	6,1
36	7,4	9,4	12,1	14,7	16,4	17,2	16,7	15,4	13,1	10,6	8	6,6
34	7,9	9,8	12,4	14,8	16,5	17,1	16,8	15,5	13,4	10,8	8,5	7,2
32	8,3	10,2	12,8	15	16,5	17	16,8	15,6	13,6	11,2	9	7,8
30	8,8	10,7	13,1	15,2	16,5	17	16,8	15,7	13,9	11,6	9,5	8,3
28	9,3	11,1	13,4	15,3	16,5	16,8	16,7	15,7	14,1	12	9,9	8,8
26	9,8	11,5	13,7	15,3	16,4	16,7	16,6	15,7	14,3	12,3	10,3	9,3
24	10,2	11,9	13,9	15,3	16,4	16,6	16,5	15,8	14,5	12,6	10,7	9,7
22	10,7	12,3	14,2	15,5	16,3	16,4	16,4	15,8	14,6	13	11,1	10,2
20	11,2	12,7	14,4	15,6	16,3	16,4	16,3	15,9	14,8	13,3	11,6	10,7
18	11,6	13	14,6	15,6	16,1	16,1	16,1	15,8	14,9	3,6	12	11,1
16	12	13,3	14,7	15,6	16	15,9	15,9	15,7	15	13,9	12,4	11,6
14	12,4	13,6	14,9	15,7	15,8	15,7	15,7	15,7	15,1	14,1	12,8	12
12	12,8	13,9	15,1	15,7	15,7	15,5	15,5	15,6	15,2	14,4	13,3	12,5
10	13,2	14,2	15,3	15,7	15,5	15,3	15,3	15,5	15,3	14,7	13,6	12,9
8	13,6	14,5	15,3	15,6	15,3	15	15,1	15,4	15,3	14,8	13,9	13,3
6	13,9	14,8	15,4	15,4	15,1	14,7	14,9	15,2	15,3	15	14,2	13,7
4	14,3	15	15,5	15,5	14,9	14,4	14,6	15,1	15,3	15,1	14,5	14,1
2	14,7	15,3	15,6	15,3	14,6	14,2	14,3	14,9	15,3	15,3	14,8	14,4
0	15	15,5	15,7	15,3	14,4	13,9	14,1	14,8	15,3	15,4	15,1	14,8

2.6 Konduktivitas Hidraulik (*Hydraulic Conductivity*)

Konduktivitas hidrolis adalah sifat fisik yang mengukur kemampuan material untuk mentransmisikan fluida melalui ruang pori dan rekahan dengan adanya gradien hidrolis yang diterapkan. Hukum Darcy mendefinisikan konduktivitas hidrolis sebagai rasio kecepatan rata-rata fluida melalui luas penampang (kecepatan Darcy) ke gradien hidrolis yang diterapkan. Konduktivitas hidrolis jenuh menggambarkan pergerakan air melalui media jenuh. Kecepatan aliran air didalam tanah sangat dipengaruhi oleh besar dan kecilnya pori-pori tanah. Konduktivitas hidrolis tidak selalu tetap. Hal ini disebabkan oleh adanya proses (kimia, fisika dan biologi). Dalam kondisi tanah gambut, telah diketahui bahwa tanah gambut merupakan tanah yang terbentuk dari akumulasi sisa tumbuhan yang membusuk. Sehingga waktu akan mempengaruhi perubahan struktur tanah gambut. Semakin lama maka tanah gambut akan menjadi gambut tua dan pori-pori pada tanah gambut akan semakin kecil. Ketika pori-pori tanah semakin mengecil maka aliran tanah juga akan semakin melambat. Nilai konduktivitas hidrolis gambut berdasarkan beberapa studi dapat dilihat pada Tabel 2.8.

Berdasarkan hasil penelitian yang dilakukan di Desa Lukun, KHG Pulau Tebing Tinggi dengan menggunakan metode slug test dan berdasarkan perhitungan yang sudah dilakukan untuk nilai konduktivitas hidrolis (K) pada 12 sumur observasi didapatkan nilai kisaran $4,3 \times 10^{-6}$ hingga $1,6 \times 10^{-4}$ (Sutikno, dkk., 2019).

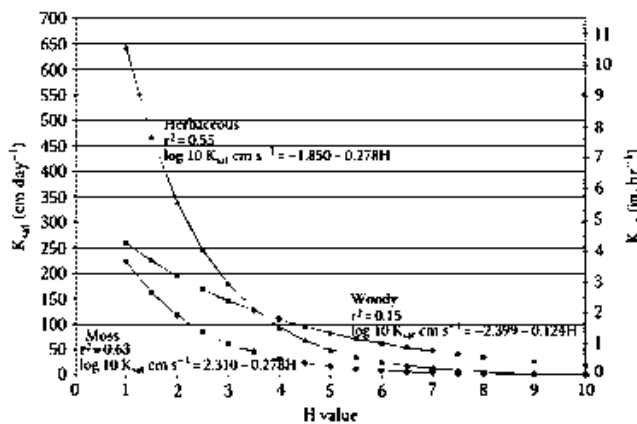
Päivänen (1973) membuat korelasi antara nilai konduktivitas dalam kondisi jenuh (K_{sat}) dengan tingkat kematangan gambut dalam bentuk nilai Von Post H (Gambar 2.10) untuk studi kasus di Findlandia. Persamaan terpisah dikembangkan untuk Sphagnum, Carex, dan gambut berkayu. Semakin tinggi tingkat kematangan gambut semakin kecil nilai konduktivitas hidrauliknya, sebaliknya semakin rendah tingkat kematangan gambut semakin besar nilai

konduktivitas hidrauliknya. Terkait dengan nilai Von Post, Gambut fibrik memiliki nilai H1-H3, hemik H4-H6, dan Saprik H7-H10.

Tabel 2.8 . Nilai Konduktivitas Hidrolik Gambut Berdasarkan Beberapa Studi

7	Lokasi	K (m/s)	Referensi
	Klang, Malaysia	$5,56 \times 10^{-4} - 5,67 \times 10^{-3}$	Katimon dan Mutalib (1997)
	Loagan Bunut National Park, Serawak, Malaysia	$4,40 \times 10^{-6} - 3,77 \times 10^{-3}$	Sayok et al. (2008)
	Loagan Bunut National Park, Serawak, Malaysia	$3,79 \times 10^{-3}$	Melling et al. (2007)

Sumber : (Prabandini 2016)



Gambar 2.10 Hubungan antara konduktivitas hidraulik jenuh (K_{sat}) dan derajat humifikasi von Post (nilai H) menggunakan metode piezometer untuk kasus gambut di Finlandia.

2.7 Aliran Air Tanah

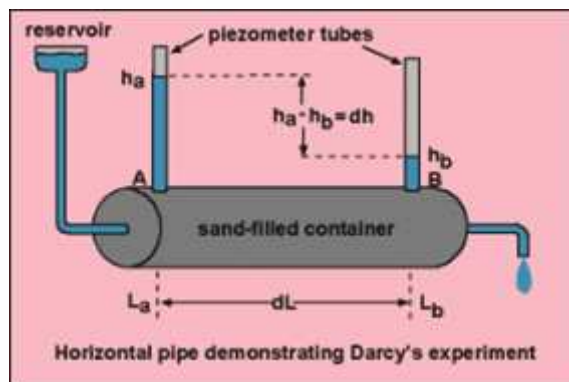
Parameter aliran air tanah perlu dikaji dalam rangka untuk menganalisis besarnya debit aliran air tanah yang merupakan salah satu komponen dalam perhitungan neraca air. Namun demikian untuk kebutuhan praktis biasanya debit aliran air tanah ini diabaikan karena besarnya rembesan yang masuk atau yang keluar akibat aliran air tanah ini relatif kecil dibandingkan dengan komponen-komponen aliran lain dalam perhitungan neraca air. Konsep umum yang perlu dipahami dari karakteristik air tanah adalah bahwa secara umum kontur permukaan air tanah

mengikuti kontur permukaan tanah. Juga perlu dipahami bahwa arah aliran air tanah mengalir dari permukaan air tanah tinggi menuju permukaan air tanah lebih rendah. Kecepatan aliran air tanah bergantung pada beda tinggi muka air tanah (gradien) dan properties media tanahnya.

Perhitungan debit rembesan (*GWO, Groundwater Outflow*) bisa diperkirakan dengan menggunakan Persamaan Darcy berikut ini, dengan menggunakan prinsip eksperimen yang dilakukan seperti ditunjukkan pada Gambar 2.11.

$$Q = K.I.A \quad (2.17)$$

dengan Q adalah besarnya debit rembesan ($m^3/hari$), A adalah luas *cross section* aliran rembesan (m^2), I adalah *Hydraulic gradient*, yang merupakan perbandingan antara beda elevasi muka air tanah antara dua titik tinjauan, dengan jarak antara dua titik tinjauan (I) = dh / dL , dan K adalah Konduktivitas hidraulik ($m/hari$). Nilai konduktivitas hidraulik bisa didapatkan dengan melakukan pengujian langsung di lapangan (*in situ*) dengan menggunakan metode *slug test* atau dengan pengujian di laboratorium. Namun demikian, mengingat material gambut sangat mudah berubah propertiesnya jika dilakukan pengambilan sampel untuk dibawa ke laboratorium, maka disarankan pengujian konduktivitas hydraulic sebaiknya dilakukan di lapangan.



Sumber; <https://digitalatlas.cose.isu.edu/>

Gambar 2.11 Percobaan Darcy pada pipa horisontal

2.8 Kapasitas Tampungan (Storage Capacity)

Kapasitas tampungan air (Storage Capacity) pada suatu KHG merupakan komponen yang penting dalam analisis neraca air. Kubah-kubah gambut pada KHG memiliki peranan penting dalam menampung dan menyimpan air. Kemampuan menyimpan air yang baik pada KHG akan memiliki peranan yang penting dalam menjaga keseimbangan air. Kapasitas tampungan air pada suatu KHG sangat tergantung pada ukuran kubah gambut, kedalaman muka air tanah rerata, jenis tutupan lahan, kerapatan jaringan drainase dan propertis gambut. Analisis volume dan kapasitas simpanan air kubah gambut dilakukan secara spasial dengan memperhatikan batas-batas KHG dan fungsi ekosistem gambut.

Gambut memiliki daya menahan air yang sangat besar, sehingga dalam kubah gambut tersimpan air dalam ruang yang besar dan berperan mengangkat kubah. Kubah gambut memiliki elevasi lebih tinggi dan ketebalan gambut biasanya lebih dalam, sehingga keberadaan kubah gambut sangat penting sebagai daerah konservasi air wilayah hidrologis gambut (KHG/Sub-KHG) karena secara langsung berfungsi sebagai pengendali banjir, pencegah kekeringan/kebakaran, serta penyangga intrusi air laut. Fungsi ini akan terganggu apabila dilakukan upaya pengatusan, dan kerusakannya makin cepat jika pengatusan dilakukan secara terbuka dan tidak terkendali.

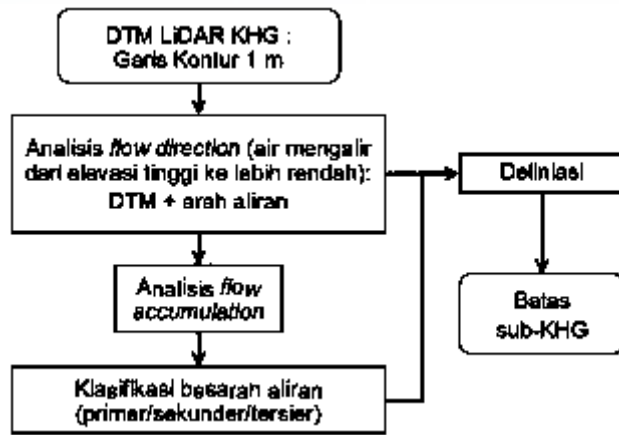
Areal resapan air kubah gambut KHG/Sub-KHG merupakan wilayah fungsi lindung ekosistem gambut dan wajib dijadikan sebagai kawasan lindung yang tidak boleh dibudidayakan. Lokasi areal resapan air adalah puncak kubah gambut yang secara alami mempunyai kemampuan menyerap dan menyimpan air lebih banyak untuk menyuplai kebutuhan air di bawahnya. Simpanan air yang besar dalam kubah gambut hanya berasal dari curah hujan, sementara air keluar melalui proses evapotranspirasi, limpasan permukaan air tanah (*outflow*), serta rembesan sungai dan kanal

sehingga jumlah air kubah gambut yang keluar berpotensi melebihi simpanan kubah. Oleh karena itu, menghitung simpanan air gambut untuk ditata sangat penting dilakukan dalam rangka mencegah bahaya kekeringan gambut serta dapat memprediksi potensi kekeringan gambut dan timbulnya bencana kebakaran lahan (*konsep sustainable peatland management*).

Analisis hidrologis dilakukan dengan baik menggunakan data DTM LiDAR (garis kontur 1 m yang berkorelasi dengan ketebalan gambut) untuk menentukan arah aliran air dan pola aliran air, menentukan dan mendeliniasi batas-batas sub-KHG, zona fungsi lindung ekosistem gambut sebagai puncak kubah sebesar 30% dari wilayah KHG/Sub-KHG dan zona fungsi lindung gambut dengan ketebalan lebih dari 3 m (PP Nomor 71 tahun 2014), serta menghitung potensi penyimpanan air pada kubah sebagai zona konservasi KHG/Sub-KHG.

2.8.1. Deliniasi dan zonasi batas sub-KHG

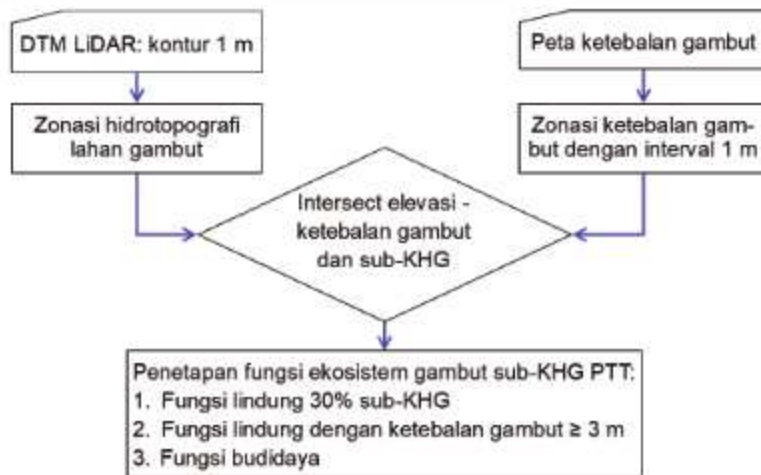
Puncak kubah KHG yang lebih tinggi akan mengalirkan air ke celah alam atau kanal kemudian ke sungai dan laut. Pengisian air sangat dipengaruhi oleh topografi lahan sehingga aliran permukaan perlu dipetakan untuk mendapatkan gambaran distribusi aliran air dan potensi penyimpanan air pada kubah. Zonasi satuan hidrologis beserta kubahnya dilakukan berdasarkan interpretasi data kontur dengan beda elevasi 1 m (DTM LiDAR). Apabila pola aliran air sudah bisa ditentukan dan puncak kubah bisa didefinisikan, maka deliniasi untuk menentukan batas sub-KHG masing-masing dapat dilakukan (Gambar 2.12). Deliniasi sub-KHG dimulai dari titik-titik elevasi yang mengapit kubah gambut menuju ujung sungai yang terdekat di depannya melalui titik-titik elevasi terendah. Hasilnya menunjukkan zona hidrologis gambut (arah aliran air) tersebar pada satuan hidrologis yang berbeda dan terpisah satu dengan lainnya, masing-masing memiliki kubah dan batas satuan hidrologis.



Gambar 2.12 Bagan alir zonasi batas sub-KHG

2.8.2. Zonasi fungsi ekosistem gambut

Penentuan puncak kubah gambut KHG yang harus dilindungi dilakukan berdasarkan analisis data hidrotopografi dan ketebalan lahan gambut (Gambar 2.13). Fungsi lindung ekosistem gambut meliputi paling sedikit 30% dari seluruh luas KHG dan terletak pada puncak kubah gambut, sedangkan fungsi lindung gambut dengan ketebalan ≥ 3 m ditetapkan berdasarkan PP No. 71 tahun 2014. Fungsi lindung gambut 30% sub-KHG di bagian puncak kubah dibatasi kontur dengan elevasi lahan yang berkorelasi dengan ketebalan.



Gambar 2.13 Bagan alir penetapan fungsi ekosistem gambut sub-KHG

2.8.3. Volume dan kapasitas simpanan air kubah gambut

Perhitungan volume kubah dilakukan untuk mengetahui volume massa puncak kubah gambut KHG/sub-KHG. Volume kubah gambut merupakan fungsi DEM dengan interval kontur 1 m dan luasnya pada KHG/sub-KHG yang sama. Penentuan luas area tangkapan hujan untuk layanan fungsi lindung gambut dapat disimulasikan berdasarkan volume cadangan air masing-masing KHG/sub-KHG. Volume dan kapasitas simpanan air dikalkulasikan menurut:

$$V_{WS} = A \times T_{WT} \times P \times 0,70 \quad (2.18)$$

dengan,

V_{WS} = Volume simpanan air kubah gambut KHG/sub-KHG

A = Luas areal KHG/sub-KHG

T_{WT} = Selisih muka air tanah terhadap elevasi permukaan lahan (m), dengan mengasumsikan bahwa pada kedalaman 1 m terdapat cadangan air yang cukup untuk membasahi gambut

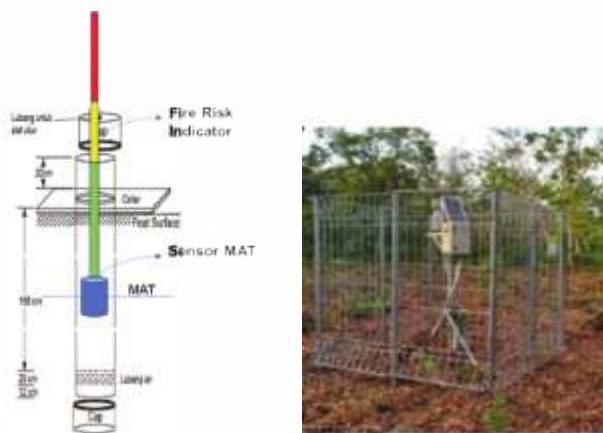
P = Koefisien pori gambut atau faktor pengali dari bagian gambut yang berpori dan menyimpan air, dengan mengasumsikan bahwa gambut saprik = 70%; Hemik = 80%; Fibrik = 90%. Porositas gambut berkisaran 70-95%, Fibrik mempunyai porositas relatif lebih tinggi dibanding hemik dan saprik (Radjaguguk, 1993, Notohadiprawiro, 1997, Nugroho et al, 1997)

0,70 = Koefisien permeabilitas gambut atau faktor pengali dari bagian pori gambut yang dapat mendistribusikan atau mengalirkan air.

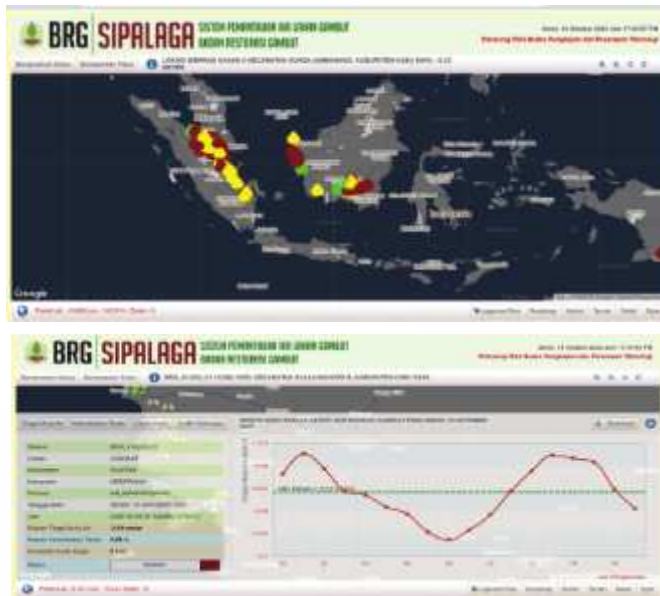
2.9 Muka Air Tanah

Pemantauan muka air tanah pada lahan gambut sangat penting untuk dilakukan karena sasaran utama kegiatan restorasi lahan gambut pada dasarnya adalah menjaga gambut agar tetap basah. Oleh karena itu, kebasahan gambut harus dipantau sepanjang tahun secara terus menerus. Pengukuran muka air tanah dapat dilakukan dengan cara manual; dan/atau otomatis. Pengukuran muka air tanah dengan cara manual dapat menggunakan sumur pantau dan batang pengukur (Gambar 2.14). Sedangkan Pengukuran muka air tanah dengan cara otomatis dapat menggunakan logger. Pengukuran muka air tanah pada ekosistem gambut di lahan konsesi ditentukan pada titik kontrol pengawasan yang disebut titik penaatan.

Badan Restorasi Gambut Republik Indonesia telah mengembangkan sistem pemantauan muka air tanah di lahan gambut (SIPALAGA). Dengan adanya sistem ini, muka air tanah di lahan gambut bisa dipantau secara real time dengan menggunakan fasilitas internet. Muka air tanah di lahan gambut di seluruh Indonesia khususnya di tujuh provinsi yang memiliki gambut terluas di Indonesia bisa dipantau secara cepat. Karena kedalaman muka air tanah berkorelasi sangat kuat dengan risiko kebakaran di lahan gambut, maka resiko kebakaran bisa diketahui secara cepat dengan adanya sistem ini. Upaya pencegahan kebakaran dengan melalui pembasahan dan peningkatan kewaspadaan bisa dilakukan secara ini dengan adanya sistem peringatan tersebut. Pada Gambar 2.15 sajikan tampilan sistem SIPALAGA yang telah dikembangkan oleh Badan Restorasi Gambut Republik Indonesia. Selain informasi muka air tanah, beberapa informasi terkait lainnya bisa didapatkan untuk masing-masing stasiun SIPALAGA tersebut diantaranya adalah kelembaban tanah dan curah hujan.



Gambar 2.14 Pemantauan muka air tanah baik secara manual (kiri) maupun sistem telemetri (kanan)

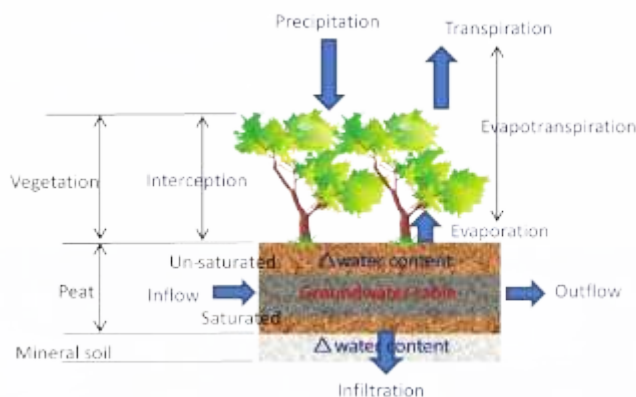


Gambar 2.15 Sistem pemantauan muka air tanah di lahan gambut yang dikembangkan oleh Badan Restorasi Gambut

2.10 Prediksi Muka Air Tanah

Muka air tanah berfluktuasi seiring dengan adanya siklus hidrologi. Muka air tanah akan naik jika terjadi hujan, dan akan turun jika tidak terjadi hujan hingga beberapa hari karena adanya evapotranspirasi dan proses pengatusan. Laju penurunan muka air tanah menunjukkan kemampuan KHG dalam menyimpan air di dalam tanah. Jika laju penurunannya tinggi (gradien kemiringan penyusutan muka air tanah besar) berarti kemampuan simpanan air pada KHG tersebut sudah tidak bagus. Jika fluktuasi muka air tanah dalam beberapa hari atau minggu kedepan bisa diprediksi, maka kemampuan simpanan air di KHG bisa diketahui dan risiko kebakaran juga bisa diperkirakan. Prediksi muka air tanah secara spasial dan temporal bisa dilakukan baik dengan pemodelan dan pemetaan muka air tanah (Sulaiman et al. 2017) maupun dengan pengolahan data penginderaan jauh (Rahman et al. 2017). Namun demikian, hasil prediksi dan pemodelan tersebut sangat tergantung pada data satelit yang ada yang secara global dengan resolusi yang belum detail.

Prediksi muka air tanah di lahan gambut dengan pemodelan matematis bisa dilakukan dengan berpedoman pada konsep keseimbangan air di lahan gambut sebagaimana disajikan pada Gambar 2.16. Sebagaimana ditunjukkan pada gambar, selisih antara sumber air yang masuk ke dalam sistem dengan yang keluar adalah merupakan penambahan atau pengurangan muka air tanah dari kondisi semula. Sumber air yang masuk ke dalam sistem adalah air hujan dan aliran antara yang masuk, sedang sumber air yang keluar adalah evapotranspirasi, infiltrasi, dan aliran antara yang keluar dari sistem.



(Sumber: Hidenori Takahashi)

Gambar 2.16 Prinsip keseimbangan air pada suatu bagian lahan gambut

Berdasarkan sketsa prinsip keseimbangan tersebut, maka perubahan elevasi muka air tanah harian adalah selisih antara kenaikan muka air tanah akibat hujan harian dengan penurunan muka air tanah akibat evapotranspirasi harian. Secara matematis diformulasikan sebagai berikut (Takahashi 2017):

$$dW = dW_{rain} - dW_{loss} \dots\dots\dots (2.19)$$

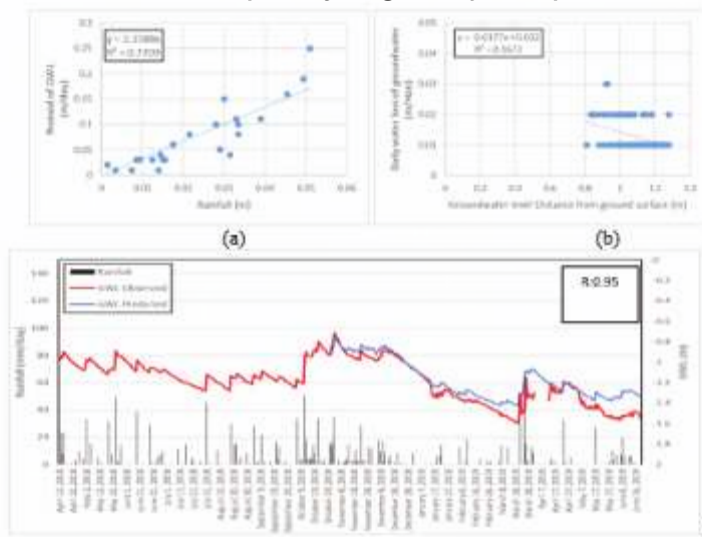
dimana dW adalah perubahan elevasi muka air tanah harian, dW_{rain} adalah perubahan kenaikan muka air tanah akibat hujan harian, dan dW_{loss} adalah penurunan muka air tanah akibat evapotranspirasi harian.

Parameter dW_{loss} dan dW_{rain} merupakan merupakan suatu korelasi yang merupakan fungsi dari masing-masing evapotranspirasi dan hujan yang keduanya bisa didapatkan dengan menggunakan analisis regresi. Dengan demikian muka air tanah pada hari berikutnya bisa diperkirakan dengan formulasi berikut ini.

$$W_{n+1} = W_n + dW_{rain} - dW_{loss} \dots\dots\dots (2.20)$$

dimana W_{n+1} adalah muka air tanah pada hari berikutnya.

Pada Gambar 2.17 disajikan contoh aplikasi prediksi muka air tanah dengan menggunakan metode tersebut yang dilakukan oleh Pratama dkk. (2020). Data-data yang digunakan untuk pemodelan berupa kedalaman muka air tanah dan curah hujan yang didapatkan dari Stasiun SIPALAGA yang ada di Desa Dompas, Kecamatan Bukit Batu, Kabupaten Bengkalis. Pada pemodelan tersebut, prediksi muka air tanah menggunakan pemodelan data enam bulan yang menunjukkan hubungan yang sangat kuat antara hasil prediksi dengan data terukur dengan koefisien korelasi 0,95 seperti yang disajikan pada Gambar. 2.17c. Pada proses pemodelan regresi, koefisien determinasi dW_{loss} didapatkan sekitar 0,1672 seperti yang disajikan pada Gambar. 2.17b, dan koefisien determinasi dW_{rain} adalah sekitar 0,7709 seperti yang disajikan pada Gambar. 2.17a.



Gambar 2.17 Proses pemodelan dW_{rain} (a), dW_{loss} (b) dan perbandingan prediksi GWL dengan GWL yang diamati (c) menggunakan data enam bulan (Mei-Oktober) 2018 (Pratama et al. 2020a)

Prediksi muka air tanah dengan menggunakan metode ini, semakin banyak data yang digunakan untuk pemodelan, semakin baik hasil prediksi muka air tanah yang diperoleh. Hal ini disebabkan karena model tersebut dapat mewakili respon dari fluktuasi muka air tanah di berbagai kondisi hidrologi baik di musim kemarau maupun di musim hujan dengan baik. Namun demikian, menggunakan data satu bulan untuk pemodelan pun sudah cukup untuk prediksi muka air tanah dengan hasil yang dapat diterima, jika ada cukup banyak peristiwa curah hujan dan fluktuasi GWL dapat mewakili respon sebagai dampak dari curah hujan (Pratama et al. 2020b). Informasi ini berguna jika hanya ada yang terbatas untuk prediksi muka air tanah di masa mendatang.

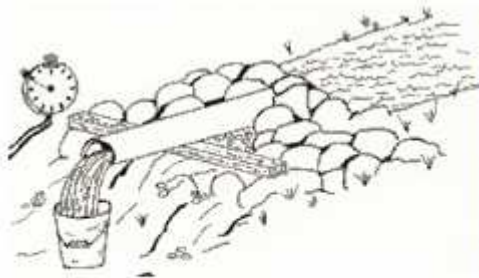
2.11 Aliran Permukaan

Aliran permukaan adalah aliran air yang mengalir di atas permukaan tanah karena penuhnya kapasitas infiltrasi tanah yang menuju ke sungai-sungai dan akhirnya bermuara ke laut. Aliran permukaan memiliki porsi yang cukup besar kontribusinya dalam analisis neraca air baik sebagai aliran yang keluar (*outflow*) maupun aliran yang masuk (*inflow*) pada jenis gambut topogen. Pada sub bab berikut ini disajikan metode kuantifikasi aliran permukaan (debit) yang melalui kanal atau sungai. Ada beberapa metode yang bisa digunakan untuk mengukur debit pada suatu kanal atau sungai, yaitu: Metode volumetrik, metode *velocity-area*, metode pelampung, *rating gauge station*, metode slope-area, dan metode struktur.

2.11.1. Metode Volumetrik (Volumetric Methods)

Metode pengukuran debit ini merupakan yang paling sederhana dan bisa diterapkan pada aliran yang relatif lambat. Metode ini bisa digunakan jika ada tempat yang memungkinkan untuk menampung semua air dari aliran kanal/sungai (misalnya di spillway). Pengukuran .

debit dilakukan secara langsung dengan menampung semua air yang mengalir pada suatu tempat (ember) dan dicatat interval waktu yang dibutuhkan selama pengisian tersebut (Gambar 2.18). Dengan mengukur volumenya yang ditampung per satuan waktu, maka debit alirannya bisa diperkirakan dalam satuan m³/detik atau liter/detik



<https://www.openchannelflow.com>



Foto: Sigit Sutikno, 21/12/2020

Gambar 2.18 Sketsa metode pengukuran debit Metode Volumetrik

2.11.2. Metode *Velocity-Area*

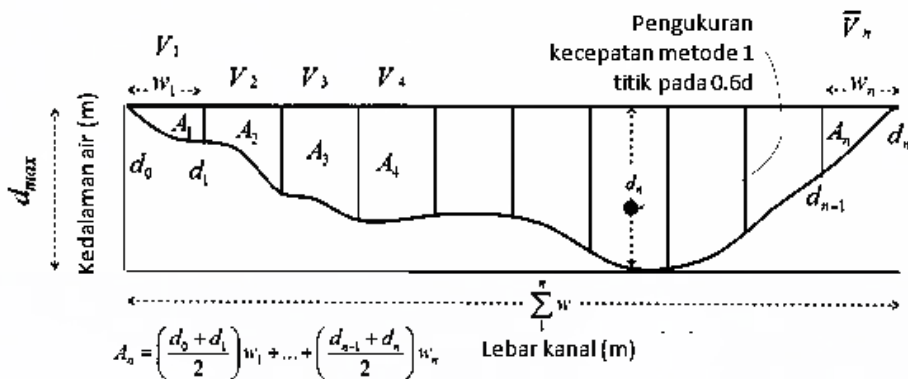
Metode ini mengukur debit secara tidak langsung dengan cara mengukur kecepatan rerata dan luas tampang basah aliran. Debit aliran pada suatu kanal/sungai diperoleh dengan menghitung integral dari kecepatan aliran v pada penampang aliran seluas A , di mana v diukur tegak lurus dengan penampang aliran menggunakan persamaan berikut ini (Gambar 2.19).

$$q_x = \underline{V}_x \cdot A_x \quad (2.21)$$

$$Q = \sum_{x=1}^n q_x \quad (2.22)$$

dengan, q_x adalah debit per pias ke- x (m³/s), V_x adalah kecepatan alira rerata pada bagian penampang ke- x (m/s), A_x adalah luas penampang pias ke- x , Q adalah debit seluruh penampang saluran, dan n adalah banyaknya pembagian pias saluran. Kecepatan aliran diukur dalam setiap interval diskrit sepanjang penampang menggunakan alat *current-meter*. Distribusi kecepatan arah vertikal

kenyataannya tidak sama di setiap kedalaman dan mengikuti fungsi logaritmik, oleh karena itu idealnya pengukuran kecepatan dilakukan di berbagai kedalaman. Namun demikian, kecepatan rerata bisa didekati dengan pengukuran menggunakan metode satu titik, dua titik, dan tiga titik. Pengukuran dengan metode satu titik dilakukan pada kedalaman 0,6 dari kedalamannya (0,6d), pengukuran dengan metode dua titik dilakukan pada kedalaman 0,2d dan 0,8d, dan pengukuran dengan metode tiga titik dilakukan pada kedalaman 0,15d, 0,50d, dan 0,85d. Kecepatan rerata vertikal diperoleh dengan merata-ratakan dari hasil pengukuran pada tiap pias tersebut.



<https://ethz.ch/en.html>

Gambar 2.19 Sketsa metode pengukuran debit Metode *Velocity-area*

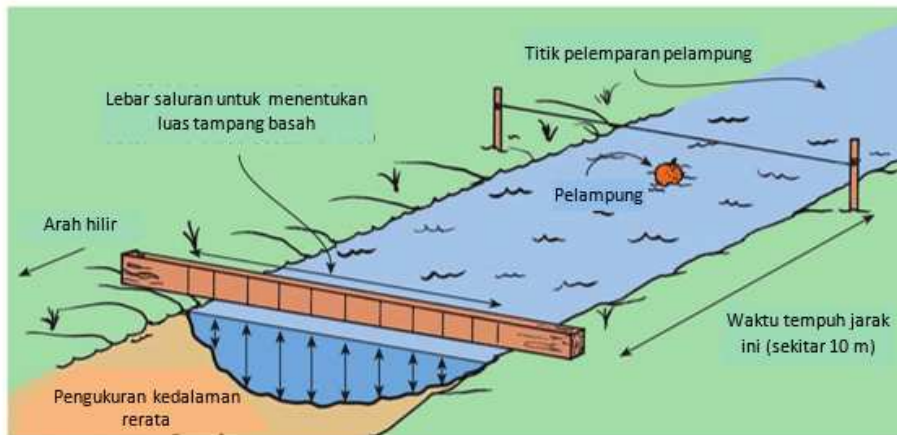
2.11.3. Metode Pelampung (*Float method*)

Metode pengukuran dengan menggunakan pelampung dapat digunakan untuk mendapatkan perkiraan kasar debit yang mengalir di kanal/sungai, atau jika aliran terlalu pelan sehingga tidak bisa diukur menggunakan *current-meter*. Dengan menggunakan benda terapung, kecepatan permukaan sungai/kanal diukur dengan cara mengukur waktu yang dibutuhkan untuk menempuh jarak yang diukur ke arah hilir. Kecepatan sungai/kanal rata-rata kemudian dapat diperkirakan dengan rumus sebagai berikut.

$$V_{\text{rerata}} = 0.85 V_{\text{terukur}} \quad (2.23)$$

Jika luas tampang basah kanal/sungai diketahui (A), debit aliran bisa dihitung dengan menggunakan persamaan berikut ini.

$$Q = \underline{A} \cdot V_{rata} \quad (2.24)$$



<https://polarpedia.eu>

Gambar 2.20 Sketsa metode pengukuran debit Metode pelampung

2.11.4. Metode Slope-Area (Slope-area methods)

Metode Slope-area method menggunakan kemiringan permukaan air pada saluran seragam (*uniform flow*) dan rata-rata luas tampang saluran untuk menghitung besaran debit di saluran. Metode ini memperkirakan debit aliran dengan tanpa melakukan pengukuran kecepatan. Persamaan empiris Manning mengasumsikan bahwa ada hubungan antara kecepatan aliran (V) dan geometri sungai. Persamaan Manning menyatakan:

$$V = \frac{1}{n} R^{2/3} S^{1/2} \quad (2.25)$$

dengan n adalah koefisien kekasaran Manning, S adalah kemiringan permukaan air, dan R adalah radius hidraulik yang merupakan besaran luas tampang basah dibagi keliling basah saluran (A/P). Nilai kekasaran Manning untuk berbagai jenis material untuk saluran disajikan pada Tabel 2.9. Selanjutnya, debit aliran bisa dihitung dengan menggunakan Persamaan 2.24.

Keuntungan dari metode ini adalah sangat sederhana dan cepat digunakan. Kerugiannya terletak pada sifat empiris persamaan tersebut, sehingga seharusnya hanya digunakan untuk mendapatkan gambaran besaran limpasan.

Tabel 2.9. Nilai koefisien kekasaran Manning untuk saluran

Saluran	Keterangan	n Manning
Tanah	Lurus, baru, seragam, landai dan bersih	0,016 - 0,033
	Berkeelok, landai dan berumput	0,023 - 0,040
	Tidak terawat dan kotor	0,050 - 0,140
	Tanah berbatu, kasar dan tidak teratur	0,035 - 0,045
Pasangan	Batu kosong	0,023 - 0,035
	Pasangan batu belah	0,017 - 0,030
Beton	Halus, sambungan baik dan rata	0,014 - 0,018
	Kurang halus dan sambungan kurang rata	0,018 - 0,030

Sumber: Darmadi 2016

2.11.3. Metode Pelampung (*Float method*)

Pengukuran debit bisa juga dilakukan dengan memasang bangunan ukur debit pada saluran terbuka. Bangunan-bangunan tersebut antara lain adalah: Ambang tajam segi tiga, ambang tajam persegi panjang, ambang lebar, Lorong Parshall, dan ujung hulu bulat (Romijn). Pembahasan lebih lanjut tentang tata cara, persyaratan teknis, bentuk dan ukuran, karakteristik, cara pengukuran, peralatan, dan langkah-langkah yang diperlukan dalam pelaksanaan pengukuran debit bisa dipelajari lebih lanjut pada SNI 8137:2015 tentang Pengukuran debit pada saluran terbuka menggunakan bangunan ukur tipe pelimpah atas.

2.11.6. Perekam Kedalaman Air (*Water-Level Recorders*)

Pengukuran debit secara terus menerus diperlukan untuk memahami karakteristik hidrograf yang keluar dari saluran secara

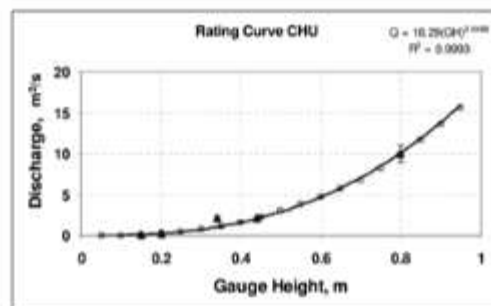
kontinyu dalam rangka untuk kajian neraca air secara temporal. Namun demikian, pengukuran debit secara langsung dan menerus belum ada metode dan peralatannya. Pengukuran secara menerus dapat dilakukan dengan cara melakukan pengukuran menerus terhadap parameter kedalaman saluran dengan menggunakan AWLR (*Automatic Water Level Recorder*), atau bisa juga dengan menggunakan *water logger* (Gambar 2.21) kemudian mengkonversikannya menjadi data debit menerus dengan menggunakan grafik liku kalibrasi debit (*Discharge Rating Curve*).

Rating curve adalah grafik yang menunjukkan hubungan antara kedalaman dan debit aliran di saluran, seperti ditunjukkan pada Gambar 2.22. Grafik tersebut dibuat dengan cara melakukan pengukuran secara berkali-kali untuk berbagai kondisi kedalaman saluran yang bervariasi, kemudian menggambarkan data hasil pengukurannya ke dalam grafik.



<https://evergreenconservancy.org/water-monitoring/>

Gambar 2.21 Pengukuran elevasi air dengan menggunakan AWLR (foto kiri), dan dengan menggunakan water logger (foto kanan)



Sumber: (Occhi and Presteggaard 2011)

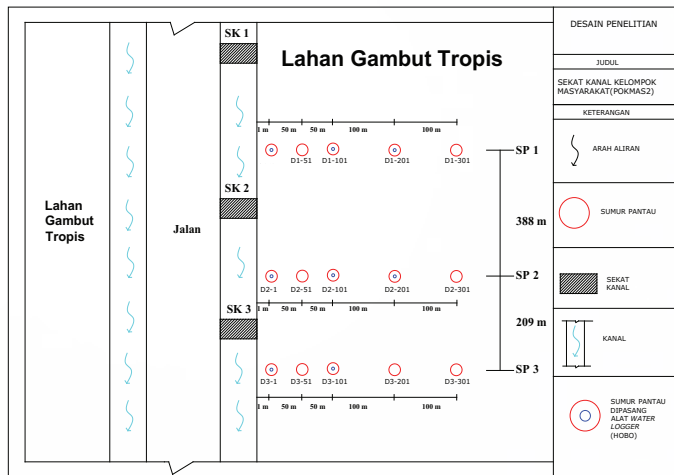
Gambar 2.22 Contoh grafik *discharge rating curve*

2.10 Prediksi Muka Air Tanah

Korelasi antara fluktuasi muka air di kanal dan muka air tanah di lahan gambut dipahami berdasarkan hasil penelitian yang dilakukan oleh Team Universitas Riau dan Universitas Sriwijaya kerjasama dengan Badan Restorasi Gambut Tahun 2019. Korelasi tersebut dibedakan pada lahan gambut yang dilakukan penyekatan kanal dan tanpa penyekatan, dengan skema penelitian seperti disajikan pada Gambar 2.23. Ada tiga transek titik sumur pantau, yang tiap-tiap transek terdiri atas tiga titik pemantauan yang masing-masing berjarak 1m (diasumsikan mewakili muka air di kanal), 100 m, dan 200 m. Transek-1 terletak di lokasi paling hulu yang berjarak 100 m dari sekat kanal-2 yang berada di hilirnya. Transek-2 terletak 200 meter sisi hilir dari Sekat Kanal-2 dan 100 meter sisi hulu Sekat Kanal-3. Sedangkan Transek-3 terletak di 100 m bagian hilir dari Sekat Kanal-3, yang merupakan transek paling hilir.

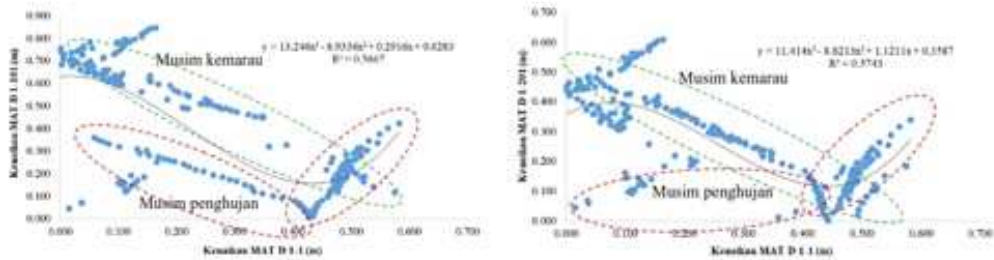
Berdasarkan kondisi tersebut, maka diasumsikan bahwa:

- a) Transek-1 merupakan lahan gambut yang dipengaruhi oleh 2 sekat kanal yang berjarak masing-masing 100 m dan 400 m di hilirnya,
- b) Transek-2 merupakan lahan gambut yang dipengaruhi oleh 1 sekat kanal yang berjarak masing 100 m dihilirnya, dan
- c) Transek-3 merupakan lahan gambut yang tidak dipengaruhi penyekatan kanal.



Gambar 2.23 Seting penelitian untuk memahami korelasi elevasi air di kanal dan TMAT (Sumber (Khotimah et al. 2020))

Korelasi kenaikan muka air di saluran dengan kenaikan muka air tanah yang berjarak 101 m dan 201 m dari kanal pada Transek-1 ditunjukkan pada Gambar 2.24. Pada saat transisi dari musim kemarau ke musim penghujan, muka air di kanal lebih cepat mengalami kenaikan dibanding dengan kenaikan muka air tanah di lahan baik pada jarak 101 m dan 201 m dari kanal. Semakin jauh jaraknya dari kanal, kenaikan muka air tanah di lahan semakin kecil pengaruhnya dengan kenaikan air di kanal. Di saat musim kemarau, muka air tanah di lahan masih tetap tinggi walaupun di kanal sudah mulai berkurang akibat aliran. Seiring dengan menurunnya jumlah hujan, penurunan muka air di kanal dan di lahan terus terjadi karena evaporasi, namun di kanal lebih cepat terjadi akibat dari aliran permukaan dan evaporasi. Ketika aliran di kanal sudah tidak ada karena sudah tidak tercukupi oleh hujan, maka akan dominan kehilangan air oleh evaporasi. Kecepatan evaporasi di kanal lebih besar dibanding dengan di lahan sehingga penurunan muka air di kanal lebih cepat daripada di lahan. Sehingga air di lahan tetap tinggi karena pengatusannya berjalan lebih lambat daripada di kanal (Khotimah et al. 2020). Berdasarkan Tabel 2.10, kedalaman muka



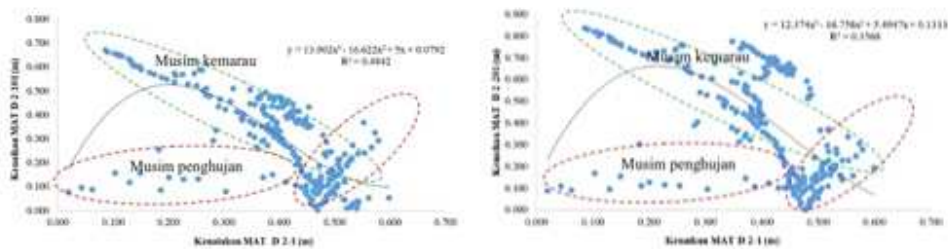
Gambar 2.24 Korelasi kenaikan muka air di saluran (MAT D1-1) dengan kenaikan muka air tanah yang berjarak 101 m dan berjarak 201 m dari kanal pada Transek-1 (Khotimah et al. 2020)

Tabel 2.10. Fluktuasi kenaikan muka air tanah pada Transek-1 (Khotimah et al. 2020)

Kenaikan MAT D 1-1 (m)	D 1-101		D 1-201	
	Kenaikan MAT (m)	Kedalaman (m)	Kenaikan MAT (m)	Kedalaman (m)
0.40	0.16	0.69	0.13	0.59
0.45	0.16	0.69	0.12	0.60
0.50	0.20	0.65	0.14	0.58
0.55	0.29	0.56	0.21	0.52
0.60	0.45	0.40	0.32	0.40

Pada Gambar 2.25 disajikan hubungan antara kenaikan muka air tanah pada sumur pantau Transek-2 yang berjarak 1 m dari kanal dengan kenaikan muka air tanah pada sumur pantau yang berjarak 101 m dan pada jarak 201 m dari kanal. Hasil monitoring fluktuasi MAT di Transek-2 menunjukkan kecenderungan yang hampir sama dengan yang terjadi di Transek-1, seperti ditunjukkan pada Gambar 2.25. Perbedaannya adalah, bahwa pada Transek-2 diperlukan menaikkan 0.55 m pada muka air di kanal supaya lahan gambut yang berjarak 101 m dan 201 m tetap terjaga di kedalaman 0.4 m seperti ditunjukkan pada Tabel 2.11. Kenaikan ini adalah 5 cm lebih rendah dari yang terjadi di Transek-1. Hal ini terjadi karena lahan gambut pada Transek-2 mengalami dampak pembasahan tidak hanya dari Sekat Kanal-3, namun juga dari Sekat Kanal-2. Akibat adanya Sekat Kanal 2 yang membasahi lahan gambut pada Transek-1, air tanah juga mengalir ke Transek-2

karena perbedaan energi potensial dan menyebabkan MAT di Transek-2 semakin tinggi (Sutikno et al. 2020).

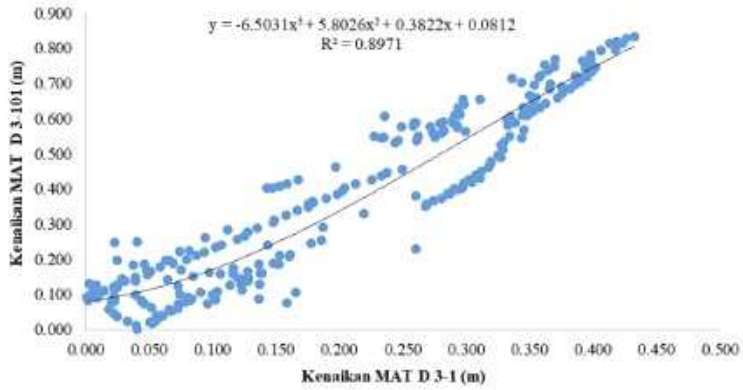


Gambar 2.25 Korelasi kenaikan muka air di saluran (MAT D1-1) dengan kenaikan muka air tanah yang berjarak 101 m dari kanal pada Transek-2 (Khotimah et al. 2020)

Tabel 2.11. Fluktuasi kenaikan MAT pada Transek-2 (Khotimah et al. 2020)

Kenaikan MAT D 2-1 (m)	D 2-101		D 2-201	
	Kenaikan MAT (m)	Kedalaman (m)	Kenaikan MAT (m)	Kedalaman (m)
0.40	0.11	0.63	0.12	0.57
0.45	0.11	0.63	0.12	0.57
0.50	0.17	0.58	0.18	0.51
0.55	0.25	0.49	0.28	0.41
0.60	0.38	0.36	0.43	0.26

Pola fluktuasi muka air tanah pada Transek-3 memiliki korelasi yang berbeda seperti yang terjadi pada Transek-1 dan Transek 2 (Gambar 2.26). Hal ini terjadi karena pada Transek-3 tidak dipengaruhi oleh penyekatan kanal. Fluktuasi muka air tanah di lahan gambut mengikuti fluktuasi muka air di kanal. Jika muka air di kanal tinggi maka muka air tanah di lahan gambut juga tinggi, sebaliknya jika muka air di kanal rendah maka muka air tanah di lahan juga rendah yang mengikuti ketersediaan air hujan. Artinya bahwa fluktuasi muka air tanah di lahan gambut yang tidak ada penyekatan kanal hanya tergantung pada curah hujan yang berfluktuasi secara musiman. Perbedaan karakteristik fluktuasi muka air tanah di lahan gambut yang terjadi di Transek-1 dan Transek-2 dengan di Transek-3 merupakan dampak dari adanya penyekatan kanal.



Gambar 2.26 Korelasi kenaikan muka air di saluran (MAT D1 -1) dengan kenaikan muka air tanah yang berjarak 101 m dari kanal pada Transek-3 (Khotimah et al. 2020)

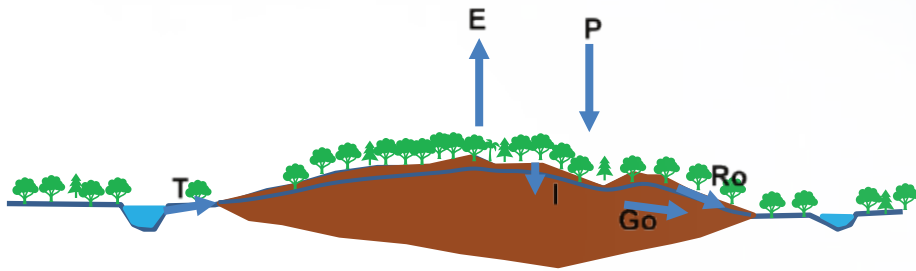


BAB 3. NERACA AIR DI LAHAN GAMBUT

3.1 Neraca Air

Perkiraan secara kuantitatif dari siklus hidrologi dapat dinyatakan berdasarkan prinsip konservasi, yang dikenal dengan persamaan neraca air. Persamaan tersebut menggambarkan bahwa di dalam suatu sistem hidrologi (daerah aliran sungai, waduk, aliran permukaan, kesatuan hidrologi gambut) dapat dievaluasi besarnya air yang masuk dan air yang keluar dari sistem tersebut dalam suatu periode waktu tertentu. Batasan kawasan sistem hidrologi yang akan dianalisis harus dipastikan terlebih dahulu sebelum membuat rumusan persamaan neraca air. Ada perbedaan mendasar batasan sistem hidrologi pada lahan gambut (*peatland*) dan lahan mineral (*upland*) untuk analisis neraca air. Batasan sistem hidrologi untuk analisis neraca air pada lahan gambut adalah kesatuan hidrologi gambut (KHG), atau sub-KHG. Sedangkan batasan sistem hidrologi untuk analisis neraca air pada lahan *upland* adalah daerah aliran sungai (DAS), atau sub-DAS.

Pada Gambar 3.1 disajikan sketsa imbalan air di suatu kesatuan hidrologi gambut, yang terdiri atas jumlah air yang masuk yang berasal dari air hujan (P), air pasang (T) jika daerahnya dipengaruhi pasang surut air laut, dan jumlah air yang keluar yang terdiri atas evapotranspirasi (E), limpasan permukaan (Ro), dan rembesan (Go). Muka air tanah akan naik jika jumlah air yang masuk dalam KHG lebih besar dari pada jumlah air yang keluar, dan sebaliknya. Neraca air ini bisa dinyatakan dalam interval waktu singkat maupun durasi Panjang.



Gambar 3.1 Sketsa imbalan air di KHG

3.2 Pentingnya Perhitungan Neraca Air

Analisis neraca air (water balance) pada ruang dan waktu di lahan gambut merupakan analisis yang sangat penting untuk mengetahui kondisi kuantitas air secara spasial dan runtun waktu. Informasi ini sangat bermanfaat untuk manajemen tata air di lahan gambut. Dengan adanya analisis perhitungan neraca air dapat diketahui waktu (bulan) dan jumlah (volume) kelebihan maupun kekurangan air (defisit) suatu kawasan kajian (KHG, Sub-KHG, lanskap, area perkebunan). Dengan demikian maka akan bisa diketahui apakah kelebihan air dapat dimanfaatkan untuk menutup defisit di musim kemarau. Sehingga bisa dicari alternatif metode menampung dan mengatur kelebihan air di musim hujan untuk tetap membasahi gambut di musim kemarau dengan menjaga kedalaman muka air tanah tetap tinggi.

Lebih lanjut kondisi neraca air tidak hanya untuk mengetahui kondisi status terkini distribusi air dalam ruang dan waktu, namun juga bisa untuk disimulasikan kondisinya terkait dengan berbagai alternatif skenario pengelolaan pada kawasan tinjauan. Sebagai contoh, untuk memahami lebih lanjut bagaimana perubahan kondisi neraca air jika dilakukan intervensi penyekatan kanal secara massif dalam satu kawasan; bagaimana jika dilakukan alih fungsi lahan pada suatu kawasan untuk keperluan tertentu; dan sebagainya. Dengan demikian, pengambilan keputusan pengelolaan di lahan

gambut yang berbasis perhitungan neraca air akan meminimalisir dampak negatif yang mungkin bisa terjadi, serta upaya-upaya perlindungan dan restorasi gambut akan lebih efisien dan efektif yang diambil berdasarkan skenario terbaik yang paling optimal.

2.10 Prediksi Muka Air Tanah

Analisis keseimbangan air (water balance) pada ruang dan waktu di lahan gambut merupakan analisis yang sangat penting untuk mengetahui kondisi kuantitas air secara spasial dan runtun waktu. Informasi ini sangat bermanfaat untuk manajemen tata air di lahan gambut. Hal-hal yang perlu diperhatikan dalam analisis keseimbangan air di daerah gambut adalah sebagai berikut.

1. Kapasitas Tampungan Dome / Storage (S) : adalah volume air yang dapat tertahan berada di dalam dome di atas muka air rerata di saluran atau sungai di sekitarnya. Jumlah maksimumnya diperkirakan sama dengan : volume dome di atas muka air rerata tersebut dikalikan angka porinya, hal ini dikatakan sebagai kapasitas tampungan.
2. Kondisi Storage selalu berubah seiring dengan dinamika water balance yang terjadi dipengaruhi oleh berbagai faktor setempat dan hal itu ditunjukkan dengan adanya fluktuasi muka air tanah di dalam lahan gambut setempat. Adapun faktor yang relatif dominan pengaruhnya pada kondisi storage sekaligus juga elevasi muka air tanahnya adalah :
 - a. besarnya curah hujan setempat,
 - b. besarnya evaporasi dan transpirasi yang terjadi,
 - c. kondisi drainase baik alami maupun artifisial yang ada setempat,
 - d. kondisi tutupan lahan dan propertis gambut.
3. Seiring dengan adanya siklus hidrometeorologi, maka secara alami terjadi fluktuasi kerentanan juga ketahanan

dome terhadap resiko pengaruh banjir sekaligus juga kekeringan lahan. Kajian tentang konservasi dome menjadi sangat penting karena perannya sebagai waduk lapangan yang menunjang ketersediaan air di lingkungan hidrologisnya.

Rumusan Umum neraca air untuk *peat dome* adalah sebagai berikut ini.

$$\pm \Delta S = \text{Input} - \text{Output} \quad \dots (3.1)$$

☒ S adalah tambahan atau pengurangan pada storage yang ada pada kubah gambut. Dengan demikian dalam kajian time seri yang berkelanjutan analisis water Balance dapat direpresentasikan dalam rumusan :

$$S(t+1) : S(t) + \text{Input}(t) - \text{Output}(t) \quad \dots (3.2)$$

S(t+1) : besarnya storage pada satu tahapan waktu berikutnya dari waktu ke t.

Input : dalam hal ini berupa curah hujan yang terjadi dan aliran masuk.

Output : dalam hal ini berupa evaporasi + transpirasi + drainasi.

Untuk Evaporasi & transpirasi dapat diperkirakan besarnya dan sangat tergantung pada kondisi meteorologi dan jenis serta umur tanamannya.

Untuk drainasi merupakan fungsi dari kondisi sistem kanalisasinya yang berarti mencakup : canal density, canal dimension and time of drainage (untuk yang terpengaruh gerakan pasang surut).

3.4 Neraca Air dan Tipe Gambut

Analisis neraca air sebaiknya juga memperhatikan jenis gambunya apakah gambut topogen atau gambut ombrogen. Gambut topogen ialah lapisan tanah gambut yang terbentuk karena genangan air yang terhambat drainasenya pada tanah-tanah cekung di belakang pantai, di pedalaman atau di pegunungan. Gambut jenis ini umumnya tidak begitu dalam, hingga sekitar 4 m saja, tidak begitu asam airnya dan relatif subur; dengan zat hara yang berasal dari lapisan tanah mineral di dasar cekungan, air sungai, sisa-sisa tumbuhan, dan air hujan. Gambut topogen relatif tidak banyak dijumpai (Anwar, 1984).

Gambut ombrogen lebih sering dijumpai, meski semua gambut ombrogen bermula sebagai gambut topogen. Gambut ombrogen lebih tua umurnya, pada umumnya lapisan gambutnya lebih tebal, hingga kedalaman 20 m, dan permukaan tanah gambutnya lebih tinggi daripada permukaan sungai di dekatnya. Kandungan unsur hara tanah sangat terbatas, hanya bersumber dari lapisan gambut dan dari air hujan, sehingga tidak subur. Sungai-sungai atau drainase yang keluar dari wilayah gambut ombrogen mengalirkan air yang keasamannya tinggi (pH 3,0–4,5), mengandung banyak asam humus dan warnanya coklat kehitaman seperti warna air teh yang pekat. Itulah sebabnya sungai-sungai semacam itu disebut juga sungai air hitam (Anwar, 1984)

Sketsa kondisi neraca air kedua jenis gambut tersebut seperti disajikan pada Gambar 3.2. Perbedaan mendasar adalah pada sumber inflownya. Pada gambut ombrogen, sumber inflownya hanya berasal dari air hujan, sedangkan pada gambut topogen, sumber inflownya selain dari air hujan juga dari surface water inflow dan dari groundwater inflow. Rumus neraca air untuk gambut topogen seperti disajikan pada Persamaan (3.3) dan gambut ombrogen

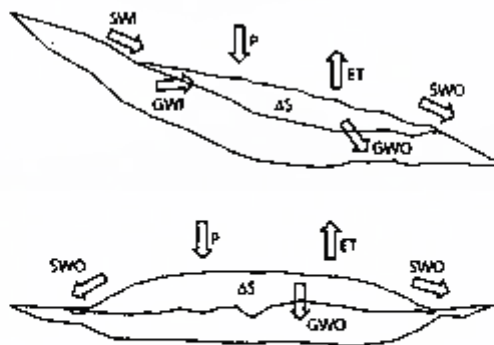
sumber inflownya hanya berasal dari air hujan, sedangkan pada gambut topogen, sumber inflonya selain dari air hujan juga dari surface water inflow dan dari groundwater inflow. Rumus neraca air untuk gambut topogen seperti disajikan pada Persamaan (3.3) dan gambut ombrogen pada Persamaan (3.4).

$$\Delta S = P + SWI + GWI - ET - SWO - GWO \quad (3.3)$$

$$\Delta S = P - ET - SWO - GWO \quad (3.4)$$

dengan

- ΔS : *Change in storage*
- P : *Precipitation*
- SWI : *Surface water Inflow*
- GWI : *Groundwater Inflow*
- ET : *Evapotranspiration*
- SWO : *Surface water Outflow*
- GWO : *Groundwater Outflow*



Sumber: Rydin, 2006

Gambar 3.2 Sketsa keseimbangan air pada daerah gambut tipe topogen (atas) dan tipe ombrogen (bawah)

3.5 Metode Perhitungan Neraca Air Lahan Gambut

Perhitungan neraca air secara lengkap dengan memperhitungkan semua komponen air masuk dan air keluar baik pada gambut topogen maupun gambut ombrogen adalah dengan menggunakan Persamaan 3.3 dan Persamaan 3.4. Namun demikian secara praktis di lapangan, ada beberapa komponen persamaan yang bisa diabaikan karena nilainya terlalu kecil dibandingkan dengan komponen lainnya, misalnya air rembesan baik yang masuk maupun yang keluar. Berdasarkan komponen-komponen yang dipertimbangkan untuk analisis neraca air tersebut, bisa digolongkan menjadi tiga kategori perhitungan neraca air, yaitu neraca air klimatologis, neraca air lahan dan neraca air gambut topogen.

3.5.1 Neraca Air Klimatologis

Perhitungan neraca air klimatologis lakukan dengan memperhitungkan komponen-komponen klimatologi, yaitu hujan dan penguapan. Data-data yang dibutuhkan untuk analisis adalah data hujan, suhu udara, lama penyinaran matahari, kelembaban udara, dan kecepatan angin. Rumus perhitungan neraca air klimatologis seperti ditunjukkan pada Persamaan 3.5. Hasil perhitungan neraca air klimatologis memberikan informasi terjadinya bulan-bulan basah dan bulan-bulan kering sepanjang tahun. Neraca air bernilai positif berarti terjadi surplus yang menunjukkan terjadinya bulan basah. Sebaliknya, neraca air bernilai negatif berarti terjadi defisit yang menunjukkan terjadinya bulan kering

$$\Delta S = P - ET \quad (3.5)$$

dengan, S : Change in storage, P: Precipitation dan ET: Evapotranspiration. Hasil perhitungan neraca air bisa dicrosscheckkan dengan data pengukuran muka air tanah di lapangan. Jika neraca airnya surplus maka seharusnya muka air tanahnya akan mengalami kenaikan. Jika tidak, maka pada lahan gambut tersebut tidak bagus daya simpan

airnya dan mengalami over drain. Sebaliknya jika neraca airnya defisit maka seharusnya muka air tanah akan turun. Jika muka air tanah tidak turun atau hanya kecil saja penurunannya, maka pada lahan gambut tersebut memiliki tata air yang bagus atau daya simpan gambut terhadap airnya masih bagus.

3.5.2 Neraca Air Lahan

Perhitungan neraca air lahan dilakukan dengan memperhitungkan selain komponen-komponen klimatologi juga komponen debit limpasan permukaan akibat dari hujan yang jatuh di lahan. Oleh karena itu perlu dilakukan analisis limpasan permukaan yang keluar dari lahan gambut. Analisis prediksi debit limpasan yang keluar di lahan gambut sama sekali berbeda dengan hujan aliran di lahan *upland*. Oleh karena itu banyak model hidrologi yang biasa digunakan untuk prediksi debit di lahan *upland* belum tentu cocok digunakan untuk prediksi debit di lahan gambut. Perbedaan mendasar antara analisis hidrologi di lahan mineral dan di lahan gambut adalah pada batasan area pemodelan. Jika di lahan *upland* batasannya adalah daerah aliran sungai (*catchment area*), sedangkan di lahan gambut batasannya adalah kesatuan hidrologi gambut (KHG). Kedua batasan tersebut sama sekali berbeda secara fisik di lapangan.

Salah satu model hidrologi yang bisa diaplikasikan untuk analisis pemodelan di lahan gambut adalah Model Thornthwaite-Matter. Hasil analisis neraca air di lahan ini menunjukkan kondisi neraca air yang lebih nyata di lapangan karena sudah memperhitungkan komponen-komponen klimatologi dan aliran permukaan yang keluar dari lahan (SWO). Komponen-komponen lain seperti proses infiltrasi, perkolasi, dan *soil moisture capacity* dan kebutuhan air tanaman sudah dimasukkan dalam perhitungan dan analisis untuk memprediksi besaran SWO. Namun demikian perlu luasan area kajian.

dilakukan kalibrasi terhadap hasil debit simulasi dihasilkan dari model ini dengan menggunakan data pengukuran debit lapangan. Neraca air di lahan bisa dihitung dengan menggunakan Persamaan 3.6. Hasil analisis perhitungan neraca air lahan ini bisa juga di bandingkan dengan data pengukuran muka air tanah di lahan gambut dengan membagi volum air defisit/surplus (m^3) dengan

$$\Delta S = P - ET - SWO \quad (3.6)$$

dengan, ΔS : *Change in storage*, P: *Precipitation* dan ET: *Evapotranspiration*, SWO: *Surface water Outflow*.

3.5.3 Neraca Air Gambut Topogen

Berdasarkan proses pembentukannya, lahan gambut dibedakan atas lahan gambut ombrogen dan gambut topogen. Lahan gambut ombrogen proses pembentukannya hanya dipengaruhi oleh air hujan saja, sedangkan gambut topogen dominan dipengaruhi oleh adanya air limpasan dan atau air pasang. Perhitungan neraca air gambut topogen lebih kompleks daripada gambut ombrogen, karena ada komponen lain sebagai inflow pada lahan gambut topogen. Pada lahan gambut topogen yang dipengaruhi adanya pasang surut air laut dan kemungkinan inflow dari aliran permukaan di hulunya, perhitungan neraca airnya menjadi lebih kompleks, karena harus dimiliki data-data pasang surut dan dipahami karakteristiknya. Perhitungan neraca air pada lahan gambut topogen dilakukan dengan menggunakan Persamaan (3.7).

$$\Delta S = P + SWI - ET - SWO \quad (3.7)$$

dengan, ΔS : *Change in storage*, P: *Precipitation* dan ET: *Evapotranspiration*, SWO: *Surface water Outflow* dan SWI: *Surface water Inflow*.

3.6 Perkembangan Analisis Neraca Air

Salah satu komponen terpenting dalam analisis neraca air adalah evapotranspirasi. Ini adalah satu konsep yang diciptakan oleh C. W. Thornthwaite pada tahun 1948, yang pertama kali merancang sebuah metode untuk mengestimasi parameter ini secara regional (Hewlett 1982). Model neraca air pertama kali dikembangkan dan diaplikasikan pada 1940-an dan 1950-an oleh Thornthwaite and Mather (Myronidis and Emmanouloudis 2008). Model asli ini pada dasarnya adalah teknik analisis bulanan yang melacak keseimbangan antara air masuk dari hujan dengan air keluar oleh evapotranspirasi, aliran sungai, dan pengisian air tanah.

Metode Thornthwaite-Mather telah banyak digunakan untuk analisis keseimbangan air (García et al. 2011), (A. and E. 2013), (Suryatmojo et al. 2013), (Myronidis and Emmanouloudis 2008), karena relatif mudah digunakan dan tidak membutuhkan data yang detail sehingga sangat cocok untuk kondisi lapangan yang terbatas ketersediaan datanya (Nugroho et al. 2019). Dengan semakin berkembangnya *performance* komputer dan Teknik GIS, pemodelan hidrologi berbasis data-data fisik menjadi penting untuk analisis pengaruh intervensi manusia dan/atau perubahan iklim pada hidrologi dan sumber daya air (Alemaw and Chaoka 2003).

Alley (1984) mencatat beberapa isu terkait dengan (*Thornthwaite-Mather Water Balance*) TMWB Model, termasuk bagaimana mensimulasikan aliran permukaan, merespons distribusi curah hujan secara temporal, memperkirakan surplus air, dan menghasilkan limpasan pada bulan-bulan kering. Untuk mengakomodir besarnya limpasan selama hujan dengan intensitas tinggi, suatu parameter perlu ditambahkan untuk meningkatkan porsi limpasan akibat hujan yang berlebih. Parameter ini dimasukkan karena ini memperbaiki ketidakmampuan model TMWB untuk menghasilkan limpasan kecuali kelembaban tanah melebihi kapasitas lapangan. Kesalahan selama periode kalibrasi ditemukan hampir sama dengan kesalahan selama periode prediksi.

Gleick (1987) memodelkan Sacramento River Basin dengan model TMWB yang dimodifikasi yang menggabungkan fraksi limpasan dan koefisien lag daerah aliran sungai. Fraksi limpasan berupaya mereproduksi limpasan yang tidak pernah memasuki penyimpanan kelembaban tanah. Nilainya adalah persentase tertentu dari total curah hujan: 10% pada bulan-bulan pertama musim hujan karena kelembaban tanah pada awalnya mengisi ulang. Setelah dua bulan, kelembaban tanah diasumsikan telah terisi kembali secara signifikan, kemudian fraksi meningkat hingga 30%. Daerah tangkapan ini sangat besar (41.000 km²), sehingga fungsi DAS ditambahkan untuk memperhitungkan keterlambatan antara curah hujan dan limpasan. Gleick (1987) menggunakan nilai kapasitas kelembaban tanah maksimum (maximum soil moisture capacity) 150 mm berdasarkan perkiraan lokal. Model ini mereproduksi aliran bulanan hingga dalam 3-4% dari nilai yang diamati dari satu set data 50 tahun.

Arnell (1992) menggabungkan fraksi limpasan untuk curah hujan awal dan dalam model TMWB yang dimodifikasi untuk menganalisis 15 daerah tangkapan hujan besar dan lembab. Tujuh skenario yang dipilih diuji di mana total curah hujan meningkat secara bertahap dan distribusi musiman diubah. Korelasi yang kuat diamati antara dampak keseluruhan dari perubahan curah hujan pada debit dan distribusi hujan musiman tersebut. Ketika curah hujan meningkat 10%, total debit meningkat dari 13-30%, dan peningkatan lebih tinggi lagi ketika peningkatan curah hujan terkonsentrasi di musim dingin.

Jiang dkk. (2007) menggunakan model TMWB untuk memprediksi debit limpasan dari daerah tangkapan yang cukup besar dengan akurasi 90%. Model ini dipakai dengan skenario perubahan iklim (perubahan curah hujan dan suhu), dan hasilnya dibandingkan dengan keluaran dari lima model hidrologi lainnya. Model TMWB dan dua lainnya menghasilkan hasil yang. Jika suhu meningkat 1°C dan curah hujan menurun 10% dan 20%, aliran tahunan rata-rata masing-masing turun 20% dan 40%.

Peningkatan 4°C bersamaan dengan penurunan curah hujan 10% dan 20% menyebabkan penurunan debit tahunan rata-rata masing-masing 32% dan 50%. Bahkan tanpa perubahan curah hujan, debit turun 15% untuk peningkatan suhu 4°C. Perubahan limpasan ditemukan lebih sensitif terhadap perubahan curah hujan dari pada suhu.

Suryatmojo dkk. (2013) menganalisis perubahan neraca air pada hutan tropis yang masih alami jika dikelola secara intensif di Kalimantan Tengah dengan menggunakan TMWB Model. Hasil studi menunjukkan bahwa didapatkan korelasi hasil yang baik antara debit limpasan hasil prediksi dengan hasil pengukuran lapangan pada kondisi hutan alami dan hutan yang dikelola. Pada hutan alami didapatkan nilai koefisien limpasan 0.5. Diasumsikan bahwa 50% dari kelebihan air akan menjadi aliran permukaan pada bulan tersebut dan sisanya tertahan untuk mensuplai soil moisture dan air tanah. Juga diasumsikan bahwa 50% dari air yang tertahan akan menjadi aliran permukaan pada bulan berikutnya. Sedangkan pada hutan yang dikelola diperoleh koefisien limpasan 0.6. Pengurangan tutupan kanopi pada hutan yang dikelola telah menyebabkan berkurangnya evapotranspirasi tahunan sekitar 45.3%, dan peningkatan limpasan tahunan sebesar 33.7% dari pada hutan alami.

Analisis neraca air di KHG Pulau Tebing Tinggi yang dilakukan oleh tim konsorsium UNRI dan UNSRI telah berhasil menggambarkan neraca air pada level sub-KHG juga menggunakan Metode Thornthwaite-Mather. Neraca air digambarkan dalam suatu grafik temporal yang menunjukkan status defisit/surplus air pada setiap bulan. Metode analisis tersebut masih mengasumsikan bahwa hanya ada 50 persen dari kelebihan air di daerah tangkapan air yang akan menjadi limpasan setiap bulan. Sejumlah 50% sisanya diasumsikan ditahan dan akan menjadi limpasan selama bulan berikutnya. Asumsi tersebut sering dipakai untuk analisis di lahan mineral, dan perlu diteliti lebih lanjut jika diaplikasikan pada lahan gambut dengan menggunakan data-data lapangan untuk kalibrasi dan validasi. Penelitian lebih lanjut terkait dengan asumsi tersebut telah

dilakukan khususnya untuk diterapkan pada lahan gambut. Hasil-hasil penelitian tersebut lebih lanjut diuraikan pada bab selanjutnya.



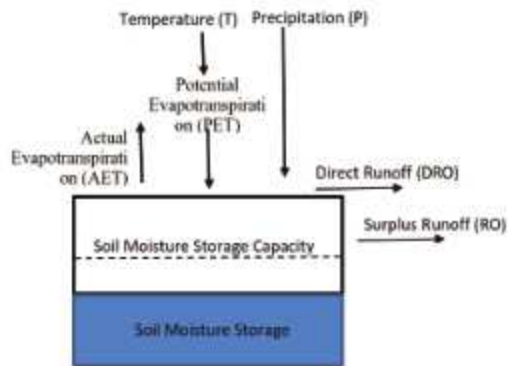
BAB 4. PENGEMBANGAN MODEL NERACA AIR

4.1 Konsep Dasar Pemodelan

Kesulitan utama analisis pemodelan hidrologi di lahan gambut adalah dalam memprediksi besaran debit yang keluar dari kanal. Dengan adanya banyak kanal *outlet* yang keluar dari kawasan kajian (KHG) dan lahan kajian yang relatif datar sehingga sulit untuk membuat delineasi *catchment area* dari masing-masing kanal outlet, maka prediksi debit dengan menggunakan metode yang biasa dilakukan pada lahan mineral dengan pendekatan DAS tidak bisa diaplikasikan pada kasus di lahan gambut. Untuk itu, metode pemodelan hidrologi yang digunakan merupakan model yang tidak menggunakan pendekatan *catchment area*. Salah satu model yang bisa digunakan adalah model neraca air Thornthwaite-Matter yang menggunakan pendekatan kapasitas kelembaban tanah (*soil moisture capacity*) untuk memprediksi besarnya debit limpasan.

4.2 Model Neraca Air Thornthwaite-Matter

Metode Thornthwaite-Mather menggunakan kapasitas kelembaban tanah (*soil moisture capacity*) untuk memperkirakan ketersediaan air. Diagram model neraca air sebagaimana ditunjukkan pada Gambar 4.1. Berbagai komponen sistem hidrologi dianalisis secara bulanan menggunakan metodologi yang awalnya dikembangkan oleh Thornthwaite (Thornthwaite, 1948; Mather, 1978, 1979; McCabe dan Wolock, 1999; Wolock dan McCabe, 1999). Input modelnya adalah suhu rata-rata bulanan (T , dalam derajat Celsius), curah hujan bulanan (P , dalam milimeter), dan garis lintang (dalam derajat desimal) dari lokasi yang diinginkan. Lokasi lintang digunakan untuk perhitungan panjang hari, yang diperlukan untuk perhitungan evapotranspirasi potensial (PET). Model ini disebut sebagai model Thornthwaite. Metode analisis masing-masing komponen tersebut diuraikan secara rinci pada sub-bab berikut ini.



Gambar 4.1 Diagram model neraca air Thornthwaite-Matter

Parameter-parameter yang diperlukan untuk menggunakan metode ini meliputi:

- 1) Curah hujan / Presipitasi (P),
- 2) Evapotranspirasi potensial (PE),
- 3) perbedaan antara presipitasi dan evapotranspirasi potensial ($P-PE$),
- 4) Ekumulasi kehilangan air potensial, APWL (*accumulated potential water loss*),
- 5) Kapasitas air tersedia, AWC (*available water capacity*),
- 6) Perbedaan antara tampungan kelembaban tanah (*soil moisture storage*) (ΔST) antara bulan ke- i dan bulan ke- $i+1$,
- 7) Evapotranspirasi actual, AE (*actual evapotranspiration*),
- 8) Defisit dan surplus ketersediaan air, dan
- 9) Estimasi limpasan

4.2.1 Curah Hujan (P)

Data curah hujan yang dibutuhkan untuk analisis neraca air adalah dalam format bulanan. Semakin panjang data yang tersedia semakin baik untuk analisis. Paling tidak dibutuhkan data hujan dalam kurun waktu 10 tahun terakhir supaya bisa dianalisis kondisi neraca air dalam 10 tahun terakhir. Kualitas data yang baik, diperoleh dari stasiun pengukuran hujan, yang biasa dimiliki oleh Kementerian PUPR atau BMKG. Namun demikian di sebagian besar daerah di lahan gambut, termasuk di KHG Pulau Tebing Tinggi dan beberapa KHG lain tidak dijumpai alat ukur tersebut. Sebagai alternatifnya adalah dengan menggunakan data hujan satelit.

Beberapa jenis data hujan satelit diantaranya adalah TRMM 3B42, TRMM 3B42RT, GPM dan PERSIANN CCS. Data-data tersebut adalah data hujan satelit yang bisa didapatkan di seluruh dunia. Data-data tersebut memiliki akurasi yang cukup baik, karena memiliki korelasi (R) dan tingkat kesalahan (RMSE) yang bisa diterima untuk analisis hidrologi (Pratiwi et al. 2017), (Fadhli et al. 2016), (Sutikno et al. 2017b). Namun demikian, untuk meningkatkan akurasi tetap perlu dilakukan koreksi dengan menggunakan data pengukuran di lapangan.

4.2.2 Potensi Evapotranspirasi (*PE*)

Potensi evapotranspirasi (*Potential Evapotranspiration*) berarti kondisi atmosfer potensial yang dapat mengeluarkan air dari permukaan tanah. Pada Metode Thornthwaite, evapotranspirasi potensial (*PE*) dihitung menggunakan langkah

berikut ini :

1. Hitung nilai tahunan dari *heat index* (I) berdasarkan *heat index* bulanan (i) yang dijumlahkan dari ke-12 heat indeks.

$$i = (T_a/5)^{1.514} \quad (4.1)$$

$$I = i_1 + i_2 + \dots + i_{12} \quad (4.2)$$

dengan T_a adalah temperature rerata bulanan.

2. Dengan menggunakan persamaan

$$a = 67.5 \times 10^{-8} P^3 - 77.1 \times 10^{-6} P^2 + 0.0179 I + 0.492 \quad (4.3)$$

untuk menghitung *unadjusted PE'* menggunakan persamaan berikut ini.

$$PE' = 16(10.T_a/I)^a \quad (4.4)$$

3. Tetapkan *unadjusted PE'* menggunakan rerata bulanan lama penyinaran matahari (dalam jam) (d) dan jumlah hari dalam satu bulan (N) menggunakan persamaan berikut ini.

$$PE = PE' (d/12)(N/30) \quad (4.5)$$

4.2.3 Nilai perbedaan potensial evapotranspirasi dan presipitasi (*P-PE*)

Nilai perbedaan potensial evapotranspirasi dan presipitasi (*P-PE*) negatif ketika ada potensi defisit air, sementara nilai *P-PE*

positif mewakili potensi surplus air. Jika nilai $P-PE$ kurang dari nol, bulannya disebut "bulan kering" dan dikenakan nilai APWL. Sementara nilai $P-PE$ lebih dari nol, bulannya disebut sebagai "bulan basah" dan dikenakan nilai surplus.

4.2.4 Akumulasi Kehilangan Potensial Air , $APWL$ (*Accumulated Potential Water Loss*)

Akumulasi kehilangan air potensial dihitung sebagai jumlah kumulatif dari nilai $P-PE$ selama berbulan-bulan ketika $P-PE$ bernilai negatif. Akumulasi potensi kehilangan air meningkat selama musim kemarau. Ini berkurang selama musim hujan karena mengisi ulang kelembaban tanah. Nilainya akan menjadi nol ketika kelembaban tanah sama dengan kapasitas penampung air yang tersedia di tanah, atau $P-PE$ bernilai positif. Nilai $APWL$ dihitung menggunakan persamaan berikut ini.

$$APWL_i = APWL_{i-1} + P_i - PE_i \quad \text{jika } (P - PE) < 0 \quad (4.6)$$

$$APWL_i = 0 \quad \text{jika } (P - PE) \geq 0 \quad (4.7)$$

4.2.5 *Available Water Capacity (AWC)*

Thorntwaite dan Mather menyarankan metode penentuan nilai AWC dengan mempertimbangkan penggunaan lahan, jenis tekstur tanah dan kedalaman rooting dengan menyediakan table *water holding capacity (WHC)* seperti ditunjukkan pada Tabel 4.1.

4.2.6 Perbedaan bulanan *Soil Moisture Storage (ΔST)*

Menurut Nugroho (2019), istilah kelembaban tanah mewakili jumlah air yang disimpan dalam tampungan tanah. Jika nilai $P-PE$ positif, maka nilai penyimpanan kelembaban tanah (ST) sama dengan AWC (Persamaan 4.9). Di sisi lain, jika nilai $P-PE$ negatif, maka penyimpanan kelembaban tanah dihitung dengan Persamaan (4.8). Perbedaan kelembaban tanah bulanan (ΔST) kemudian dapat dihitung dengan Persamaan (4.10). Nilai positif dari ΔST berarti

ada cukup air untuk ditambahkan ke penyimpanan kelembaban tanah, sementara nilai negatif menyiratkan bahwa air dikeluarkan dari penyimpanan karena evapotranspirasi.

$$ST = AWC \cdot e^{APWL/AWC} \quad \text{jika } (P - PE) < 0 \quad (4.8)$$

$$ST = AWC \quad \text{jika } (P - PE) \geq 0 \quad (4.9)$$

$$\Delta ST_i = ST_i - ST_{i-1} \quad (4.10)$$

Menurut Suryatmojo (2013), hubungan antara APWL dengan (*amount of water storage in the root zone*) adalah,

$$ST_i = ST_f \left[\exp \left(\frac{-APWL_i}{ST_f} \right) \right] \quad (4.11)$$

dengan ST_i adalah *available water storage in the root zone* pada saat bulan ke- i (mm) dan ST_f *available water storage at field capacity in the root zone* (mm). Pada kondisi bulan dimana PE lebih kecil dari P , tampungan di tanah dihitung sebagai perbedaan antara PE dan P terukur:

$$ST_i = ST_{i-1} + (-P - PE) \quad (4.12)$$

Jika tampungan ST_i pada bulan tertentu lebih tinggi dari kapasitas lapang (*field capacity*), maka perkolasi ($Rench_i$) secara sederhana bisa dihitung sebagai berikut.

$$Rench_i = ST_i - ST_{i-1} + P - PE_i \quad (4.13)$$

dan $APWL = 0$. Jika kandungan air (*moisture content*) pada zona perakaran tidak mencapai kapasitas lapang, maka APWL bisa dihitung dengan menggunakan kombinasi Persamaan (4.9) dan Persamaan (4.10), dan tidak ada perkolasi pada kondisi ini

$$APWL_i = -ST_f \cdot \ln \left[\frac{ST_{i-1} + P - PE}{ST_f} \right] \quad (4.14)$$

Tabel 4.14 Perkiraan nilai *Available Water Capacity* (AWC)

Vegetation	% Area	AWC ^[1] (mm/m)	Rooting Depth ^[1] (m)	AWC (mm)
Upstream				
Settlements	40.6%	150	0.1	6.09
Shallow-rooted	25.0%	150	0.5	18.75
Moderately rooted	21.6%	150	1	32.40
Deep-rooted	2.0%	150	1	3.00
Orchards	5.0%	150	1.67	12.53
Mature forest	5.8%	150	2	17.40
Total	100%		Σ AWC upstream:	90.20
Midstream				
Settlements	65.2%	150	0.1	9.79
Shallow-rooted	10.0%	150	0.5	7.50
Moderately rooted	13.7%	150	1	20.55
Deep-rooted	2.0%	150	1	3.00
Orchards	4.6%	150	1.67	11.61
Mature forest	4.5%	150	2	13.39
Total	100%		Σ AWC midstream:	65.80
Downstream				
Settlements	42.4%	150	0.1	6.35
Shallow-rooted	20.0%	150	0.5	15.00
Moderately rooted	23.9%	150	1	35.85
Deep-rooted	9.0%	150	1	13.50
Orchards	1.4%	150	1.67	3.51
Mature forest	3.4%	150	2	10.10
Total	100%		Σ AWC downstream:	84.30

4.2.7 Actual Evapotranspiration (AE)

Perbedaan antara evapotranspirasi aktual (*AE*) dan evapotranspirasi potensial (*PE*) adalah dalam hubungannya dengan tampungan kelembaban tanah (*soil moisture storage*). *PE* menghitung pembuangan air dari permukaan tanah hanya oleh potensi atmosferik (panas), sedangkan *AE* menghitung perubahan pada tampungan kelembaban tanah di permukaan tanah. Ketika curah hujan (*P*) lebih tinggi dari *PE*, itu berarti bahwa penyimpanan kelembaban tanah masih jenuh dari presipitasi yang berlebihan. Oleh karena itu, *AE* sama dengan *PE* karena tidak ada perubahan pada penyimpanan kelembaban tanah. Ketika *P* lebih rendah dari *PE*, itu berarti ada perubahan dalam penyimpanan kelembaban tanah. Dengan demikian, *AE* sama dengan *P* dikurangi dengan perubahan dalam penyimpanan kelembaban tanah.

$$P > PE \rightarrow AE = PE \quad (4.15)$$

$$P < PE \rightarrow AE = P - \Delta ST \quad (4.16)$$

4.2.8 Deficit (D) dan Surplus (S)

Soil-moisture deficit dinyatakan sebagai perbedaan antara evapotranspirasi aktual dan evapotranspirasi potensial. Ketika kelembaban tanah mencapai kapasitas kelembaban-tanah maksimum, yaitu AWC, setiap curah hujan berlebih menjadi nilai lebih, sehingga membuat nilai surplus sama dengan P-PE.

$$D = PE - AE \quad (4.17)$$

$$S = P - PE \quad (4.18)$$

4.2.9 Runoff (R)

Thornthwaite dan Mather menyarankan bahwa hanya ada 50 persen dari kelebihan air di daerah tangkapan air yang akan menjadi limpasan setiap bulan. Sejumlah 50% sisanya diasumsikan ditahan dan akan menjadi limpasan selama bulan berikutnya (ditunjukkan pada Persamaan 4.19).

$$R_i = 50\% S_i + 50\% S_{i-1} \quad (4.19)$$

Semua informasi dan hasil hitungan di atas bisa digunakan untuk memperkirakan total limpasan (*Total water available for runoff, TARO*) sebagai air surplus. *Runoff (RO)* adalah total aliran dan air yang tertahan (*detention*) sebagai temporary storage, yaitu surplus soil moisture. Untuk bulan tertentu, RO adalah sebagian kecil ($k < 1$) dari TARO untuk bulan itu, sebagaimana dikalibrasi untuk sistem. *Water detention (DET)* adalah air yang tertahan untuk persediaan air tanah. DET sama dengan bagian TARO yang tersisa dan mewakili penyimpanan air sementara, permukaan air tanah yang naik, dan jenuh tanah yang berlebihan. Thornthwaite dan Mather menyarankan bahwa untuk daerah aliran sungai yang besar, nilai k sekitar 0,5 dan nilainya lebih besar untuk daerah tangkapan yang lebih kecil, topografi yang curam, dan tanah yang dangkal.

4.3 Pengembangan TMWB Model di Lahan Gambut

Selama ini TMWB Model yang dibuat masih sebatas untuk analisis neraca air pada kawasan tanah mineral yang memiliki karakteristik hidrologi yang sama sekali berbeda dengan di lahan gambut. Karakteristik kemampuan menyimpan air (water holding capacity) pada tanah mineral tentu berbeda dengan pada tanah gambut. Klasifikasi jenis tekstur tanah pada tanah mineral yang dimodelkan pada TMWB Model adalah pasir halus, lempung berpasir halus, dan lempung berdebu yang masing-masing memiliki karakteristik kemampuan menyimpan air yang berbeda (water holding capacity). Pada pemodelan di lahan gambut, jenis tekstur tanah tersebut tidak dijumpai sehingga perlu dilakukan justifikasi untuk mengkonversikannya dengan memperhatikan karakteristik fisiknya. Pada pemodelan sebelumnya, masih berasumsi bahwa hanya ada 50 persen dari kelebihan air di daerah tangkapan air yang akan menjadi limpasan setiap bulan. Sejumlah 50% sisanya diasumsikan ditahan dan akan menjadi limpasan selama bulan berikutnya. Pemberian porsi 50% ini belum ada justifikasi scientificnya alasan kenapa angkanya 50%. Juga, untuk aplikasi di lahan gambut “apakah porsinya tersebut masih tetap 50% atau berapa?” juga belum ada yang melakukan penelitian dan pemodelan lebih jauh.

Penelitian lebih lanjut dilakukan untuk mengembangkan TMWB Model ini untuk bisa diaplikasikan lebih lanjut di lahan gambut. Berdasarkan alur penyelesaian persamaan-persamaan yang ada pada TMWB Model, maka dapat disampaikan bahwa model ini tidak bisa diaplikasikan pada lahan gambut topogen. Selanjutnya, model ini bisa dipakai untuk analisis neraca air pada lahan gambut jenis ombrogen pada skala sub KHG.

Tahapan pembuatan TMWB Model di lahan gambut dilakukan mengikuti alur seperti ditunjukkan pada bagan alur pemodelan pada Gambar 4.2 dengan penjelasan masing-masing tahapan sebagaimana diuraikan berikut ini.

a) Pengumpulan data

Tahap awal pemodelan ini adalah pengumpulan data. Data yang dikumpulkan baik berupa data sekunder maupun data primer. Jenis data sekunder yang dikumpulkan pada penelitian ini seperti data tipe tanah, tata guna lahan, jaringan kanal, kedalaman gambut, data topografi/LIDAR, data hujan dan data klimatologi. Sedangkan data primer diperoleh melalui survei lapangan. Survei lapangan diperlukan untuk memasang alat pengukur debit di kanal-kanal yang dipilih yang datanya akan dipakai untuk kalibrasi model TMWB.

b) Analisis data

Data DEM/LIDAR, Jaringan Kanal, dan Kedalaman Gambut. Analisis data DEM dilakukan dengan menggunakan perangkat lunak GIS. Daerah observasi akan didelineasi berdasarkan batas topografi alami KHG/Sub-KHG. Metode yang digunakan dalam proses delineasi adalah metode threshold, di mana besar kecil nilai threshold yang digunakan akan menentukan jumlah jaringan sungai yang terbentuk. Data delineasi Sub-KHG ini nanti akan menjadi dasar untuk analisis neraca air lebih lanjut.

Data Fluktuasi Air Kanal. Mengingat kemungkinan data pencatatan debit di kanal-kanal yang akan dimodelkan hidrologi tidak tersedia, maka perlu dilakukan pemasangan alat perekaman secara otomatis setiap interval 1 jam. Lokasi pemasangan alat akan ditentukan berdasarkan analisis data spasial untuk masing-masing KHG. Output dari analisis data ini nanti adalah berupa data debit. Data ini akan digunakan untuk kalibrasi dan validasi model TMWB pada sub-KHG yang dipilih.

Data GIS. Data-data yang dikumpulkan seperti data dari SESAME/SIPALAGA, DEM/LIDAR, jaringan kanal, kedalaman gambut, properties gambut, tata guna lahan,

dan data debit kemudian ditumpangsusunkan ke dalam peta yang berbasis GIS untuk memudahkan analisis lebih lanjut.

c) Pemodelan hidrologi TMWB Model

Penyusunan model hidrologi TMWB dilakukan mengikuti bagan alir seperti disajikan pada Gambar 4.3. Berbagai data input yang dibutuhkan meliputi data iklim, data batas sub-KHG, peta penggunaan lahan, peta dan data tanah serta data biofisik disiapkan untuk analisis neraca air. Pada hasil keluaran tersebut dilakukan kalibrasi dan validasi untuk mengetahui tingkat keakuratan model dengan menggunakan data pengukuran AWLR di lapangan. Pembuatan algoritma model dilakukan dengan menggunakan *software Microsoft Excel*, karena input data-data bisa dimasukkan secara lebih mudah.

d) Kalibrasi dan validasi model hidrologi

Proses kalibrasi merupakan proses pemilihan kombinasi parameter untuk meningkatkan koherensi antara respon hidrologi yang diamati/diukur dengan hasil simulasi. Proses kalibrasi dilakukan dengan membandingkan data debit bulanan observasi dengan data simulasi selama periode waktu tertentu. Data debit bulanan observasi merupakan data hasil pencatatan debit pengukuran langsung di lapangan. Proses validasi dilakukan dengan menggunakan parameter-parameter yang sudah dikalibrasi untuk melakukan simulasi untuk data pengamatan yang lain. Hasil parameter-parameter yang sudah dikalibrasi dan divalidasi, selanjutnya dipakai untuk simulasi berbagai alternatif manajemen dan pengelolaan tata air yang terkait dengan neraca air.

Menurut Suryatmojo (2013), TMWB Model hanya membutuhkan satu parameter kalibrasi, yaitu koefisien *runoff* yang digunakan untuk memperkirakan *runoff* bulanan

bulanan (RO) dan *detention water* (DET). Debit aliran permukaan yang mengalir melalui sungai atau kanal diukur dan digunakan untuk pembandingan dengan debit hasil hitungan dari TMWB Model. Jika hasilnya belum sesuai atau belum mendekati, maka nilai koefisien limpasan (k) diubah-ubah sedemikian sehingga nilai korelasi (R) menunjukkan nilai korelasi yang kuat. Hasil penelitian menunjukkan bahwa koefisien k untuk hutan yang masih alami 0.5 menghasilkan debit prediksi dengan tingkat korelasi kuat (Tabel 4.2) dengan nilai R 0.82 dengan debit hasil pengukuran, sedangkan pada hutan yang dikelola dengan nilai k 0.6 bisa didapatkan nilai R 0.81.

Tabel 4.2 Kriteria nilai koefisien korelasi

Nilai Koefisien Korelasi R	Kriteria Hubungan
0,0	Tidak ada korelasi
0,0 – 0,5	Korelasi lemah
0,5 – 0,8	Korelasi sedang
0,8 – 1,0	Korelasi kuat
1,0	Korelasi sempurna

Sumber: (Siagian & Sugiarto, 2006)

Beberapa parameter untuk menguji validitas dan akurasi model diantaranya adalah nilai efisiensi Nash-Sutcliffe (E), *root mean square standard error* (RMSE), dan *mean absolute error* (MAE).

$$E = 1 - \frac{\sum_{i=1}^N (Q_i - Q_m)^2}{\sum_{i=1}^N (Q_i - \bar{Q})^2} \quad (4.19)$$

dengan Q_i : *observed flow* (mm), \bar{Q} : *mean flow* (mm), dan Q_m : *modeled flow* (mm).

$$RMSE = \sqrt{N^{-1} \sum_{i=1}^N (Q_i - Q_m)^2} \quad (4.20)$$

$$MAE = N^{-1} \sum_{i=1}^N |Q_i - Q_m| \quad (4.21)$$

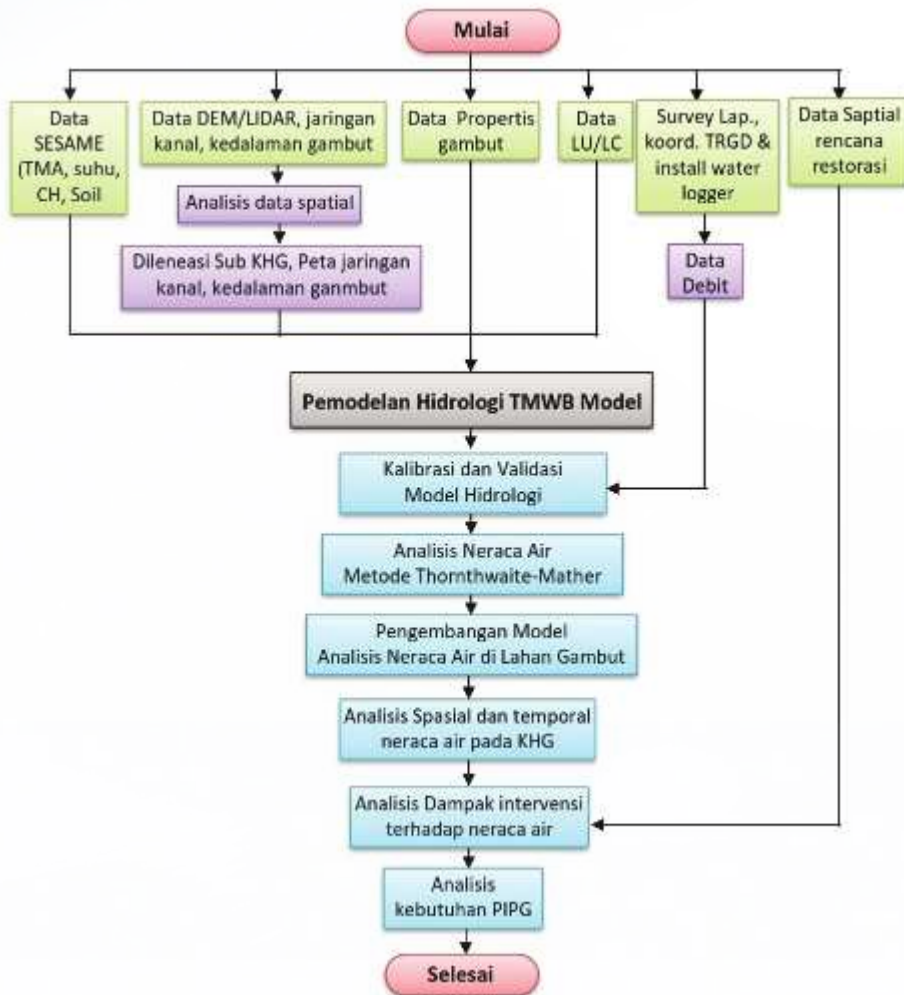
pe) Analisis Neraca Air Metode Thornthwaite-Mather
Analisis neraca air pada awalnya dilakukan dengan menggunakan Metode Thornthwaite-Mather untuk kondisi eksisting. Analisis ini digunakan sebagai analisis dasar terhadap metode analisis yang akan dikembangkan dengan menggunakan model hidrologi TMWB.

f) Analisis Spasial dan Temporal Neraca Air di KHG dan Simulasi Intervensi

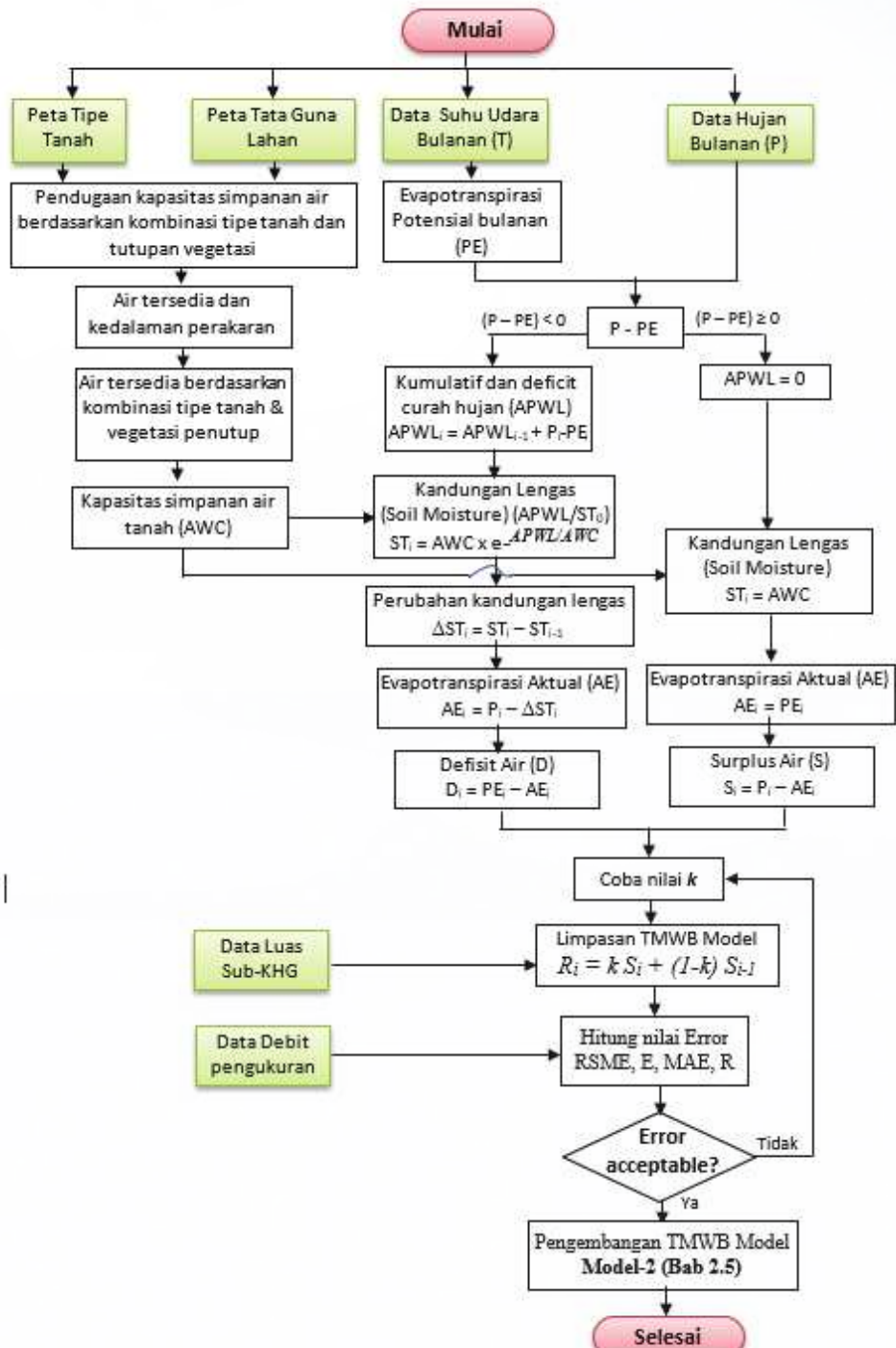
Setelah didapatkan metode analisis neraca air yang valid berdasarkan model hidrologi yang dikembangkan, selanjutnya dilakukan simulasi analisis neraca air pada tiap-tiap SubKHG dengan berbagai skenario intervensi. Selanjutnya dilakukan simulasi neraca air terhadap skenario intervensi terbaik mulai dari tahun 2021 hingga tahun 2025. Analisis dilakukan dengan menggunakan data spasial dan data time series hidroklimatologi masing-masing Sub-KHG, dengan demikian bisa dipahami dengan baik kondisi neraca air secara temporal dan spasial dalam satu KHG.

g) Analisis Kebutuhan PIPG

Berdasarkan simulasi skenario intervensi terbaik dari analisis sebelumnya, kemudian dilakukan analisis kebutuhan PIPG untuk masing-masing KHG dan menampilkannya dalam peta berbasis GIS.



Gambar 4.2 Bagan alir pembuatan TMWB model di lahan gambut



Gambar 4.3 Bagan alir Pembuatan TMWB Model di Lahan Gambut



BAB 5. STUDI KASUS

Padababini diuraikan tahapan analisis dan pemodelan hidrologi untuk perhitungan neraca air dengan mengambil studi kasus pada KHG pulau Tebing Tinggi, Kabupaten Kepulauan Meranti, Provinsi Riau. Setelah didapat model hidrologi yang bisa digunakan untuk analisis neraca air, selanjutnya model digunakan untuk simulasi terhadap berbagai alternatif skenario pengelolaan dan atau intervensi pembasahan.

5.1 Analisis Spasial dan Pembagian Sub-KHG

Tahapan awal dalam pemodelan hidrologi dan analisis neraca air pada skala KHG adalah analisis spasial dan pembagian KHG menjadi sub-sub KHG sebagai batasan areal kajian. Batasan areal kajian dalam sub-KHG dilakukan untuk mendapatkan hasil kajian yang lebih detail, selain bahwa antar sub-KHG tersebut memang tidak terkoneksi secara hidrologis satu sama lain. Analisis spasial dilakukan untuk menyiapkan data-data input model neraca air yang terkait secara spasial, seperti data tutupan lahan dan karakteristik tekstur tanah.

5.1.1 Deliniasi dan Pembagian batas sub-KHG

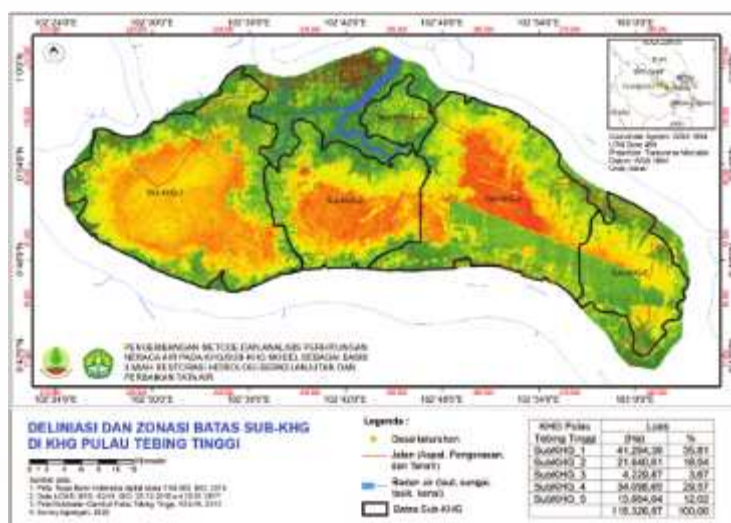
Proses pembagian sub KHG mengikuti tahapan-tahapan yang disajikan pada Gambar 2.12. Data-data yang digunakan adalah data lidar atau data garis kontur dengan beda elevasi maksimum 1 meter, kemudian dilakukan analisis secara spasial untuk mendapatkan batasan sub KHG. Hasil pembagian sub KHG Pulau TebingTinggidisajikanpadaGambar5.1.Berdasarkananalisis tersebut, KHG Pulau Tebing Tinggi dibagi dalam 5 sub-KHG. KHG Pulau Tebing Tinggi mempunyai lima bagian satuan hidrologis yang berbeda dan terpisah satu dengan lainnya, yang masing-masingnya memiliki kubah, batas satuan hidrologis serta aliran sungai yang berbeda, yaitu sub-KHG 1, sub-KHG 2, sub-KHG 3, sub-KHG 4,

dan sub-KHG 5. Penyebaran keruangan masing-masing sub-KHG disajikan dalam Tabel 5.1.

Tabel 5.1 Zonasi kubah gambut sub-KHG Pulau Tebing Tinggi

No.	Zonasi KHG Pulau Tebing Tinggi	Luas	
		(Ha)	(%)
1	sub-KHG 1	41.294,39	35,81
2	sub-KHG 2	21.840,01	18,94
3	sub-KHG 3	4.229,87	3,67
4	sub-KHG 4	34.098,65	29,57
5	sub-KHG 5	13.864,04	12,02
	Jumlah	115.326,97	100,00

Sumber : Data DTM LiDAR 2015



Gambar 5.1 Peta deliniasi dan zonasi kubah gambut KHG Pulau Tebing Tinggi

Uraian penyebaran bagian satuan hidrologis di wilayah KHG Pulau Tebing Tinggi adalah sebagai berikut:

- 1) Sub-KHG 1 dengan luas 41.294,39 Ha atau 35,81% luas pulau terletak di bagian barat. Puncak kubah terletak di Desa Tenan, Tanjung, dan Tanjung Peranap. Ketebalan gambut maksimum 12,32 m. Bagian ini dibatasi Sungai Perumbi di utara, Sungai Suir Kanan-Sungai Pertas di barat, serta laut di bagian selatan dan barat.
- 2) Sub-KHG 2 dengan luas 21.840,01 Ha atau 18,94%

luas pulau terletak di tengah antara sub-KHG 1 dan sub-KHG 4. Puncak kubah terletak di wilayah Desa Kepau Baru dengan ketebalan maksimum 10 m. Bagian ini dibatasi Sungai Suir di utara, Sungai Suir Kiri-kanal PT. NSP-Sungai Makun di timur, laut di selatan, dan Sungai Suir Kanan-Sungai Pertas di barat.

3) Sub-KHG 3 dengan luas 4.229,87 Ha atau 3,67% luas pulau terletak di bagian utara dengan puncak kubah yang dalam (maksimal 8 m) terletak di Desa Lukun. Bagian ini dibatasi oleh perairan laut dan Sungai Suir.

4) Sub-KHG 4 merupakan bagian terbesar dengan luas 34.098,65 Ha atau 29,57% luas pulau dan terletak di bagian timur dengan puncak kubah terletak di Sungai Tohor dengan ketebalan maksimum 12,25 m. Bagian ini dibatasi laut di bagian utara dan selatan; Sungai Suir Kiri-kanal PT. NSP-Sungai Makun di barat, dan Sungai Kekat-kanal PT. NSP di timur.

5) Sub-KHG 5 merupakan bagian terbesar dengan luas 13.864,04 Ha atau 12,02% luas pulau dan terletak di bagian timur dengan puncak kubah terletak di Nipah Sedanu dan Teluk Buntal dengan ketebalan maksimum 10,00 m. Bagian ini dibatasi laut dan di bagian barat oleh Sungai Kekat-kanal PT. NSP di timur.

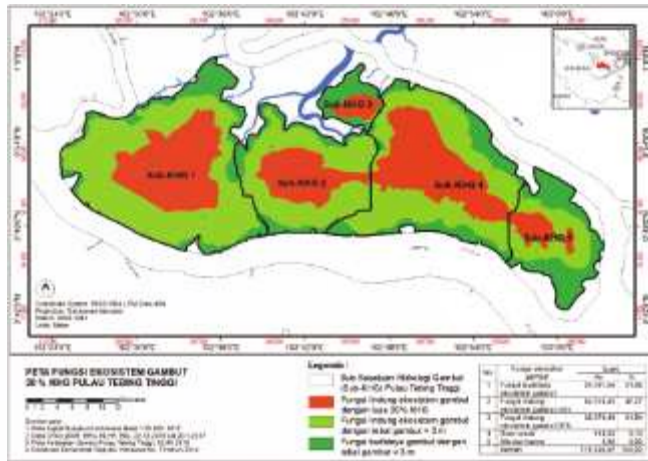
Tata kelola gambut perlu memperhatikan bentuk lahan sub-KHG dengan maksud mempertahankannya agar sumber air terpenuhi sepanjang tahun dan sebaliknya terhindar dari bencana banjir maupun kekeringan. Gambut merupakan bahan organik yang mengalami oksidasi dan subsiden bila didrainase, sehingga dengan sendirinya ini akan memunculkan suatu aspek penting dalam pertimbangan pengelolaan sub-KHG. Konsekuensinya adalah batas sub-KHG dapat berpindah bila direklamasi, sehingga tangkapan hujan mudah terdegradasi dan berubah, merubah neraca air kedua tangkapan hujan meskipun hanya satu yang

direklamasi. Terlebih lagi mengingat lereng lahan sangat landai sehingga batas tangkapan hujan sulit dikenali di lapangan, dan kerusakan berpotensi terlambat untuk diketahui.

5.1.2 Zonasi fungsi ekosistem gambut

Penentuan puncak kubah gambut KHG yang harus dilindungi dilakukan berdasarkan analisis data hidrotopografi dan ketebalan lahan gambut. Fungsi lindung ekosistem gambut meliputi paling sedikit 30% dari seluruh luas KHG dan terletak pada puncak kubah gambut, sedangkan fungsi lindung gambut dengan ketebalan ≥ 3 m ditetapkan berdasarkan PP No. 71 tahun 2014. Fungsi lindung gambut 30% sub-KHG di bagian puncak kubah dibatasi kontur dengan elevasi lahan yang berkorelasi dengan ketebalan. Kawasan fungsi lindung 30% setiap sub-KHG ditetapkan berdasarkan perhitungan luas lahan dengan elevasi lahan ≥ 9 m dpl. Zonasi elevasi lahan ini berkorelasi dengan ketebalan gambut ≥ 6 m di lapangan. Penyebaran kawasan fungsi lindung ekosistem gambut 30% sub-KHG Pulau Tebing Tinggi disajikan pada Gambar 5.2 dan Tabel 5.2.

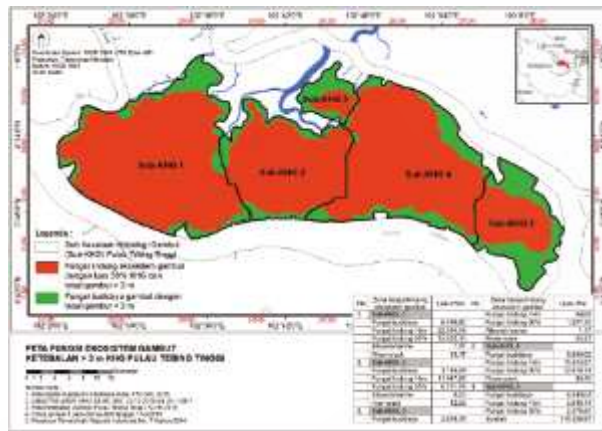
Kawasan fungsi lindung dengan ketebalan gambut > 3 m setiap sub-KHG ditetapkan berdasarkan perhitungan luas lahan dengan ketebalan gambut > 3 m. Kawasan fungsi budidaya sebagai penyangga merupakan lahan gambut dengan ketebalan gambut ≤ 3 m. Meskipun secara aturan hanya ketebalan gambut < 3 m bisa dijadikan sebagai kawasan budidaya, namun dalam kenyataannya gambut dengan ketebalan > 3 m juga sudah dibudidayakan. Semua area konsesi perkebunan sagu PT NSP berada di dalam wilayah fungsi lindung > 3 m dan sedikit berada dalam area fungsi lindung 30% dari luas KHG Pulau Tebing Tinggi. Apabila memperhatikan pola kawasan fungsi lindung terhadap sebaran lokasi pemukiman di KHG Pulau Tebing Tinggi, ternyata masyarakat secara alamiah bermukim pada wilayah gambut-gambut dangkal < 3 m sampai tepi-tepi sungai/ pantai.



Gambar 5.2 Peta fungsi lindung ekosistem Gambut 30 % sub-KHG Pulau Tebing Tinggi

Tabel 5.2 Penetapan fungsi ekosistem gambut di KHG Pulau Tebing Tinggi

No	KHG	Fungsi ekosistem gambut	Luas		
			Ha	%	
1	Sub-KHG-1	Fungsi budidaya ekosistem gambut	6.390,80	15,48	
		Fungsi lindung ekosistem gambut >3m	22.004,54	53,30	
		Fungsi lindung ekosistem gambut 30%	12.852,10	31,13	
		Alluvial marine	1,76	0,00	
		river-crack	33,17	0,08	
		<i>Jumlah sub-KHG 1</i>	41.282,37		
2	Sub-KHG-2	Fungsi budidaya ekosistem gambut	3.145,94	14,41	
		Fungsi lindung ekosistem gambut >3m	11.947,85	54,71	
		Fungsi lindung ekosistem gambut 30%	6.701,78	30,69	
		Alluvial marine	0,03	0,00	
		river-crack	42,62	0,20	
		<i>Jumlah sub-KHG 2</i>	21.838,21		
3	Sub-KHG-3	Fungsi budidaya ekosistem gambut	2.608,35	61,66	
		Fungsi lindung ekosistem gambut >3m	88,68	2,10	
		Fungsi lindung ekosistem gambut 30%	1.507,42	35,64	
		Alluvial marine	1,17	0,03	
		river-crack	24,28	0,57	
		<i>Jumlah sub-KHG 3</i>	4.229,90		
4	Sub-KHG-4	Fungsi budidaya ekosistem gambut	5.696,02	16,72	
		Fungsi lindung ekosistem gambut >3m	15.403,87	45,22	
		Fungsi lindung ekosistem gambut 30%	12.916,74	37,92	
		river-crack	45,41	0,13	
		<i>Jumlah sub-KHG 4</i>	34.062,05		
		5	Sub-KHG-5	Fungsi budidaya ekosistem gambut	6.440,04
Fungsi lindung ekosistem gambut >3m	5.048,14			36,41	
Fungsi lindung ekosistem gambut 30%	2.376,85			17,14	
<i>Jumlah sub-KHG 5</i>	13.865,04			100,00	
	<i>Jumlah KHG</i>			115.277,57	



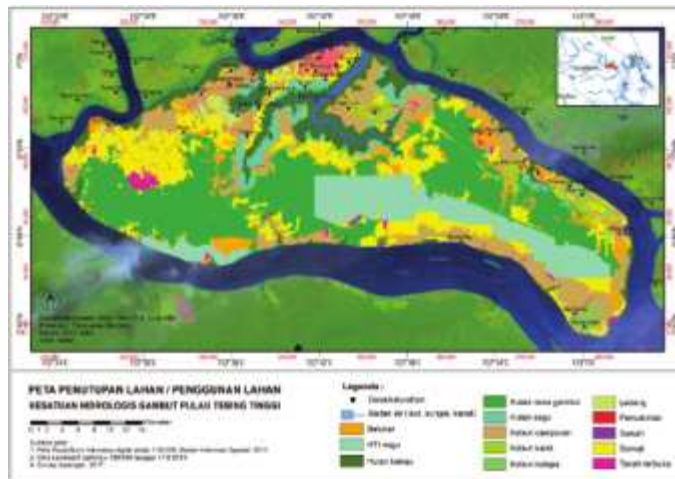
Gambar 5.3 Peta fungsi lindung ekosistem gambut > 3 m sub-KHG Pulau Tebing Tinggi

Kawasan konservasi ditunjukkan dengan warna kemerahan sedangkan kawasan budidaya yang ditunjukkan dengan warna hijau (Gambar 5.3). Jika asumsi ketebalan > 3 m merupakan kubah maka 136.271,99 Ha atau 78,81% luas KHG Pulau Tebing Tinggi merupakan kubah gambut, sementara ketebalan gambut < 3 m mencapai 36.421,71 Ha atau 21,06%, dan di luar kawasan gambut dikelilingi oleh *landform* tanggul yang terdiri atas tanah-tanah aluvial marin sebesar non gambut 222,66 Ha atau 0,13%.

5.1.3 Analisis Tutupan Lahan

Analisis tutupan lahan dilakukan untuk mendapatkan informasi yang terkait dengan jenis vegetasi pada KHG model. Jenis vegetasi ini berkaitan dengan kemampuan tanah menahan air. Berbagai jenis vegetasi dikombinasikan dengan jenis tekstur tanah memiliki nilai koefisien yang tertentu dalam kawasan dalam rangka untuk analisis kemampuan simpanan air *water holding capacity*.

Analisis tutupan lahan dilakukan dengan menggunakan data citra Landsat 8. Klasifikasi terbimbing terhadap citra Landsat 8 dengan komposit RGB 753 yang telah dipertajam dan diverifikasi di lapangan telah menghasilkan 14 jenis penutupan lahan dan penggunaan lahan di Pulau Tebing Tinggi. Peta penutupan lahan/ penggunaan lahan disajikan dalam Gambar 5.4, luas kelas masing-masing disajikan dalam Tabel 5.3.



Gambar 5.4 Peta Penutupan Lahan Pulau Tebing Tinggi

Tabel 5.3 Penggunaan lahan/penutupan lahan Pulau Tebing Tinggi

No.	Penutupan Lahan/Penggunaan Lahan	Luas	
		(Ha)	(%)
1.	Badan air	218,08	0,19
2.	Belukar	6.295,92	5,46
3.	Perkebunan sagu	16.553,20	14,36%
4.	Hutan bakau	4.079,65	3,54
5.	Hutan rawa gambut	38.951,57	33,79
6.	Hutan sagu	3.849,46	3,34
7.	Kebun campuran	18.768,93	16,28
8.	Kebun karet	2.071,53	1,80
9.	Kebun kelapa	1.097,91	0,95
10.	Palawija	1.156,18	1,00
11.	Pemukiman + kilang sagu	946,56	0,82
12.	Sawah	23,55	0,02
13.	Semak	19.638,46	17,04
14.	Tanah terbuka	1.626,58	1,41
	Jumlah	115.277,57	100,00

Sumber : Citra Landsat 8 path/row 126/059 tanggal 17 Agustus 2019

Penutupan hutan rawa gambut yang tersisa adalah 33,79% dari luas KHG, sebagian besarnya merupakan hutan produksi yang telah dikuasai masyarakat secara turun temurun dan sisanya berupa bekas PT LUM (10.566,98 Ha). Kebun campuran berupa penggunaan lahan kebun sagu, karet, kelapa, kopi dan atau pinang dengan luasan yang sempit mencapai luas 16,28% dari luas KHG.

Penutupan lahan semak sebagai indikator lokasi rawan kebakaran menyebar cukup luas, yaitu 17,04% dari luas KHG. Penggunaan lahan perkebunan sagu dengan luas yang sudah ditanam sebesar 17.412,21 Ha, sebagian besar merupakan konsesi PT NSP dan sedikit konsesi PT Tani Swadaya Perdana di sebelah selatan. Penggunaan lahan kebun sagu rakyat, karet, kopi, dan pinang umumnya diusahakan oleh masyarakat pada lahan gambut alluvial, gambut dangkal, sampai bergambut.

Penggunaan lahan pertanian utama adalah kebun sagu, karet dan kelapa. Komoditi tersebut disukai masyarakat karena pengelolaannya mudah dan resikonya lebih kecil. Ladang seperti padi, palawija dan sayuran relatif sedikit dan biasanya berasosiasi dengan semak dan belukar. Pola kebun di lapangan dijumpai dalam bentuk lahan pekarangan, monokultur, dan campuran misalnya kebun karet dengan sagu. Sebagian penduduk bermata pencaharian sebagai buruh di perusahaan swasta, di panglong arang bakau, dan kilang sagu serta buruh lepas. Kecenderungan sebagai petani menunjukkan adanya budaya untuk mengelola lahan yang masih tinggi di kalangan masyarakat. Konsekuensi dari hal ini adalah adanya potensi perubahan penutupan lahan hutan rawa gambut menjadi penggunaan lahan perkebunan sagu, karet atau kelapa untuk mengakomodasi kebutuhan lahan pertanian.

5.1.4 Saluran Drainase/Kanal

Keberadaan saluran drainase/kanal pada KHG akan mempercepat tingkat pengatusan di lahan gambut. Semakin banyak kanal, maka nilai kerapatan aliran/drainase (jumlah dari semua aliran/sungai (km) dibagi dengan luas kawasan KHG (km²)) semakin besar akibatnya debit puncak semakin besar dan semakin cepat terjadi. Pada kondisi ini lahan gambut makin cepat mengalami kekeringan. Kondisi ini akan mempengaruhi nilai parameter k dalam pemodelan TMWB.

Tubuh air terdiri atas tasik (danau) dan saluran drainase (sungai dan kanal). Sungai Suir dan Sungai Suir Kiri merupakan sungai utama dan sungai paling besar di Pulau Tebing Tinggi. Selain itu juga memiliki banyak sungai atau saluran drainase alami, baik besar maupun kecil, seperti Sungai Pertas, Sungai Tohor, Sungai Bandul, Sungai Pelampin, Sungai Pulau, Sungai Buntal, Sungai Perumbi, Sungai Terus, Sungai Mengkikip, Sungai Alur Panjang, Sungai Dendang, Sungai Mataluar, Sungai Mengkawan, Sungai Mesaji, Sungai Pinang, Sungai Mabok, Sungai Silayang, dan Sungai Penggelam. Selain sungai, terdapat beberapa tasik (danau alami) yaitu Tasik Nambus dan Tasik Perekat di Kecamatan Tebing Tinggi Barat. Pengamatan lapangan menunjukkan bahwa sudah banyak saluran drainase buatan atau kanal dibangun oleh perusahaan dan masyarakat di Pulau Tebing Tinggi.

Pulau Tebing Tinggi memiliki saluran drainase alami berupa sungai dan tasik yang mencirikan kondisi hidrologi rawa gambut (Tabel 5.4). Tasik Nambus, Perekat dan Ulu Mamud berfungsi sebagai tampungan air yang akan dilepas ke sungai-sungai secara bertahap di musim kemarau.

Tabel 5.4 Penyebaran saluran air alami atau sungai di KHG Pulau Tebing Tinggi

No.	Nama sungai	Wilayah kecamatan	Panjang (m)
1.	Sungai Suir dan Suir Kanan	Tebing Tinggi, Tebing Tinggi Barat, Tebing Tinggi Timur	54.600
2.	Sungai Pertas	Tebing Tinggi Timur	11.800
3.	Sungai Penekat	Tebing Tinggi Timur	9.090
4.	Sungai Tohor	Tebing Tinggi Timur	12.300
5.	Sungai Makun	Tebing Tinggi Timur	7.100
6.	Sungai Air Tawar	Tebing Tinggi Timur	7.600
7.	Sungai Bandul	Tebing Tinggi Timur	5.900
8.	Sungai Pelampin	Tebing Tinggi Timur	3.500
9.	Sungai Pulau	Tebing Tinggi Timur	6.300
10.	Sungai Buntal	Tebing Tinggi Timur	3.500
11.	Sungai Sogeh	Tebing Tinggi Timur	5.300
12.	Sungai Mentayan	Tebing Tinggi Timur	2.500
13.	Sungai Panduk	Tebing Tinggi Timur	3.100
14.	Sungai Kekat	Tebing Tinggi Timur	5.000
15.	Sungai Suir Kiri	Tebing Tinggi Barat	37.300
16.	Sungai Perumbi	Tebing Tinggi Barat	16.600
17.	Sungai Selattinggi	Tebing Tinggi Barat	8.200
18.	Sungai Terus	Tebing Tinggi Barat	2.100
19.	Sungai Mengkikip	Tebing Tinggi Barat	5.500
20.	Sungai Alur Panjang	Tebing Tinggi Barat	1.400
21.	Sungai Dendang	Tebing Tinggi Barat	1.500
22.	Sungai Mataluar	Tebing Tinggi Barat	1.700
23.	Sungai Mengkawan	Tebing Tinggi Barat	1.800
24.	Sungai Mesaji	Tebing Tinggi Barat	900
25.	Sungai Pinang	Tebing Tinggi Barat	900
26.	Sungai Mabok	Tebing Tinggi Barat	3.000
27.	Sungai Silayang	Tebing Tinggi Barat	3.500
28.	Sungai Batangbuah	Tebing Tinggi Barat	1.300
29.	Sungai Petigawang	Tebing Tinggi Barat	600
30.	Sungai Penggelam	Tebing Tinggi	3.500

Sumber: Data DTM LiDAR dan survey lapangan (2020)

Beberapa sungai dan juga kanal telah diukur dimensi dan kecepatan arusnya untuk menentukan debit di Pulau Tebing Tinggi, disajikan pada Tabel 5.5. Bekas alur-alur mengalir dari bagian hulu yang merupakan hutan rawa gambut, dicirikan oleh air yang berwarna coklat kehitam-hitaman, menuju sungai-sungai kecil. Sungai Suir sebagai sungai utama memiliki hulu Sungai Suir Kanan di sebelah Barat (wilayah Kecamatan Tebing Tinggi Barat) dan Sungai Suir Kiri di sebelah Selatan (wilayah Kecamatan Tebing Tinggi Timur), lalu bermuara di Selat Malaka di sebelah Utara (wilayah Kecamatan Tebing Tinggi). Bagian hulunya Sungai Suir Kanan berhubungan secara keruangan dengan bagian

hulunya Sungai Pertas, sedangkan bagian hulunya Sungai Suir Kiri berhubung dengan hulunya Sungai Makun. Kedua sungai ini bermuara ke Selat Malaka di sebelah Selatan. Sebagian hulunya Sungai Suir Kanan juga terhubung dengan bagian hulunya Sungai Perumbi yang bermuara di sebelah Utara. Keberadaan sungai-sungai besar tersebut memotong-memotong dan membagi kubah gambut menjadi setidaknya lima bagian.

Tabel 5.5 Dimensi sungai dan kanal di beberapa titik pengamatan hidrologi di KHG Pulau Tebing Tinggi

No	Nama Sungai	Lebar (m)	Kedalaman (m)	Kecepatan arus (m detik ⁻¹)
1.	Sungai Perumbi bagian hulu	75,00	7,80	0,22
2.	Sungai Perumbi bagian hilir	126,00	13,54	0,33
3.	Sungai Siau	27,00	3,10	0,33
4.	Sungai Planpin	88,00	9,32	0,07
5.	Sungai Pasemak	111,00	11,07	0,11
6.	Sungai Kabung	57,00	4,74	0,15
7.	Sungai Batang Buah	126,00	6,69	0,17
8.	Sungai Pukam	85,00	9,86	0,53
9.	Sungai Silayang	83,00	11,64	0,53
10.	Sungai Terus	32,00	8,50	0,14
11.	Sungai Penggelam	28,00	1,45	0,05
12.	Sungai Keruh	14,00	1,00	0,10
13.	Sungai Pertas	3,00	4,00	0,09
14.	Sungai Mabok	9,00	6,00	0,05
15.	Sungai Tohor	15,00	9,00	0,08
16.	Parit Kekat	3,00	4,00	0,50
17.	Parit di Desa Tanjung	1,60	5,00	0,43
18.	Kanal PT NSP	6,00	4,00	0,40

Saluran drainase buatan atau jaringan kanal menyebar ke arah pesisir dengan pola yang tidak teratur. Kanal-kanal pembatas lahan kebun terhubung dengan kanal-kanal hamparan lahan yang kemudian diteruskan ke kanal primer. Sebagian pembatas lahan (perigi) seperti lubang-lubang tunggal, terputus-putus dan tidak terhubung dengan kanal sekunder maupun primer. Pola ini merupakan bentuk tata kelola lahan masyarakat tempatan. Terdapat dua wilayah jaringan kanal masyarakat: 1) kanal sisi barat di Kecamatan Tebing Tinggi Barat mempunyai

minimal 20 kanal primer yang terhubung langsung ke laut; 2) kanal sisi timur di Kecamatan Tebing Tinggi Timur mempunyai minimal 30 kanal primer yang terhubung langsung ke laut. Kanal-kanal di sepanjang pantai ini perlu menjadi perhatian karena keberadaannya apabila tidak ditutup atau ditata kembali bisa mempercepat pengeringan dan penipisan lapisan gambut.

Jaringan kanal PT NSP lebih rapi dan teratur mengikuti blok-blok pertanaman sagu. Jaringan jalan mengikuti kanal primer di sisi kiri atau sisi kanan saluran. PT NSP membangun kanal bertujuan untuk mengeringkan gambut sekaligus transportasi tual sagu. Intensitas kanal PT NSP adalah 500 x 500 m dengan ukuran dimensi tinggi 3 m dan lebar 4 m, air gambut berwarna coklat kehitaman, dan tidak mengalir saat musim kemarau. Dimensi kanal induk dapat berukuran lebih besar yaitu tinggi 6 m dan dalam 4 m atau tinggi 6 m dan dalam 6 m. Distribusi kanal dengan lebar > 3 m disajikan pada Gambar 5.5 dan lebar kanal < 3 m pada Gambar 8. Kriteria dimensi saluran drainase buatan (kedalaman dan lebar saluran air) digunakan untuk penentuan lokasi indikasi titik penyekatan dalam upaya rencana penataan KHG Pulau Tebing Tinggi.



Gambar 5.5 Peta dimensi saluran air (kanal) yang memiliki lebar > 3 m dan kedalaman > 1 m di KHG Pulau Tebing Tinggi

5.1.5 Analisis Karakteristik Tekstur Tanah

Pada pemodelan neraca air dengan menggunakan TMWB model membutuhkan informasi karakteristik tekstur tanah. Karakteristik tekstur tanah ini berkaitan dengan kemampuan tanah menyimpan dan mendistribusikan air. Karena pada awalnya pemodelan neraca air menggunakan TMWB model ini dikembangkan pada lahan mineral, maka jenis tanah yang dimodelkan adalah jenis tanah pasir halus, lempung berpasir halus, lempung berdebu, dan lempung. Untuk pengembangan model ini di lahan gambut maka perlu justifikasi yang terkait dengan jenis kematangan gambut. Pada penelitian ini tekstur tanah dikelompokkan menjadi tanah dengan tekstur kasar, tekstur sedang dan tekstur halus. Informasi tekstur tanah pada KHG Pulau Tebing Tinggi disajikan pada Gambar 5.6.

1. Kasar : Pasir halus/Fibrik
2. Sedang : Lempung berpasir halus/
Lempung berdebu/ Fibrik-hemik
3. Halus : Lempung berliat/Lempung/Saprik

Telah dikelompokkan tiga subgrup dari ordo Histosols (Puslitanak, 1990), yaitu Haplofibrists (Fibrik) 25,13%; Haplohemists (Hemik) 42,27%; Haplosaprist (Saprik) 48,723,85 Ha Sulfaquents 2,81 % dari luas KHG (Gambar 5.6 dan Tabel 5.6).

a) Haplohemists mempunyai tingkat dekomposisi hemik berwarna hitam kemerahan sampai kelabu sangat gelap. Pada kedalaman gambut > 1,5 m, tingkat dekomposisi bahan gambut adalah fibrik akibat kondisi reduksi. Tipologi ini dijumpai di kubah dengan drainase sangat terhambat, permeabilitas cepat dan solum tanah dalam sampai sangat dalam.

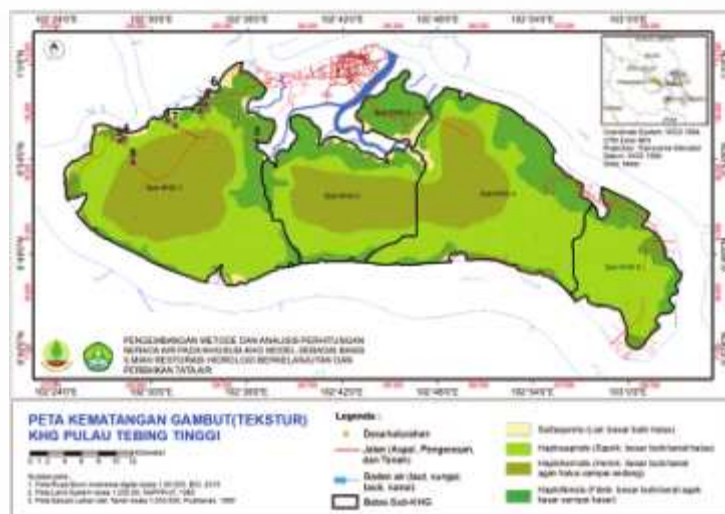
b) Haplosaprist mempunyai tingkat dekomposisi saprik berwarna hitam kemerahan sampai merah kehitaman. Pada kedalaman gambut > 1,5 m dan tingkat dekomposisi bahan gambut adalah hemik dan fibrik akibat kondisi reduksi. Ciri

utama lainnya adalah muka air tanah cenderung berfluktuasi dan sering melebihi permukaan tanah.

c) Haplofibrist mempunyai tingkat dekomposisi saprik berwarna merah, hitam kemerahan, dan merah gelap.

Tipologi lahan gambut dangkal dijumpai di rawa belakang dan sisi kubah. Karakteristik lahannya adalah berdrainase terhambat dan permeabilitas agak cepat. Ciri utama lainnya adalah lapisan bahan hemik dengan ketebalan total 0,5 m pada kedalaman 1,5 m.

d) Histic Sulfaquents terbentuk dari bahan aluvio-marin yang mengandung lapisan bahan sulfidik/pirit dalam suasana jenuh air. Tanahnya mempunyai kematangan setengah matang dan drainase sangat terhambat. Lapisan paling atas berupa gambut setebal 20–35 cm yang berwarna coklat kekelabuan sampai kelabu gelap, kelabu gelap, dan tingkat dekomposisi hemik. Lapisan bawah dengan kedalaman 40 cm mempunyai warna kelabu gelap sampai kelabu gelap olive dan coklat sangat gelap kekelabuan, tekstur lempung berdebu dan debu, konsistensi agak lekat dan agak plastis.



Gambar 5.6 Peta tekstur tanah pada KHG Pulau Tebing Tinggi

Tabel 5.6 Jenis tanah dan kematangan gambut KHG Pulau Tebing Tinggi

No.	Ketebalan gambut	Kematangan	Luas	
			(Ha)	(%)
1	Haplofibrists	Fibrik: serat agak kasar sampai kasar padanan besar butir lempung berpasir halus dan pasir halus	28.967,98	25,13
1	Haplohemists	Hemik: serat agak halus sampai sedang padanan besar butir lempung berliat dan lempung berdebu 0,5–1	34.350,06	29,80
2	Haplosaprists	Saprik: serat halus padanan besar butir lempung	48.723,89	42,27
3	Sulfaquents	Liat: besar butir halus	3.235,65	2,81
	Jumlah		115.277,57	100,00

Sumber : Reklasifikasi Peta Ketebalan Gambut Pulau Tebing Tinggi (KLHK, 2015)

5.1.6 Tipologi Gambut

Hasil analisis kadar abu KHG Pulau Tebing Tinggi menunjukkan semua wilayah fungsi ekosistem gambut merupakan tipe *oligotrofik*, yaitu berkisar antara 2,0–4,7%. Pada beberapa titik pemboran juga ditemukan nilai kadar abu yang sangat tinggi. Kondisi ini disebabkan luapan air yang mengendapkan partikel-partikel tanah yang berasal dari pengikisan badan-badan jalan saat musim hujan besar. Kandungan unsur mikro lapisan bawah dapat menjadi lebih tinggi apabila terjadi pencampuran dengan bahan mineral yang ada di lapisan bawah gambut tersebut. Kadar abu merupakan cerminan dari kandungan unsur hara gambut. Batasan kandungan abu untuk gambut oligotrofik < 5%, mesotrofik 5–15%, dan eutrofik > 15% (Subagyo, 1999). Identifikasi kadar abu, melalui pengabuan gambut dengan cawan porselin dengan *muffle* pada suhu 400 oC selama 6 jam atau 600 oC selama 4 jam. Kadar abu tipe topogen > 1% dan kadar abu tipe ombrogen < 1%.

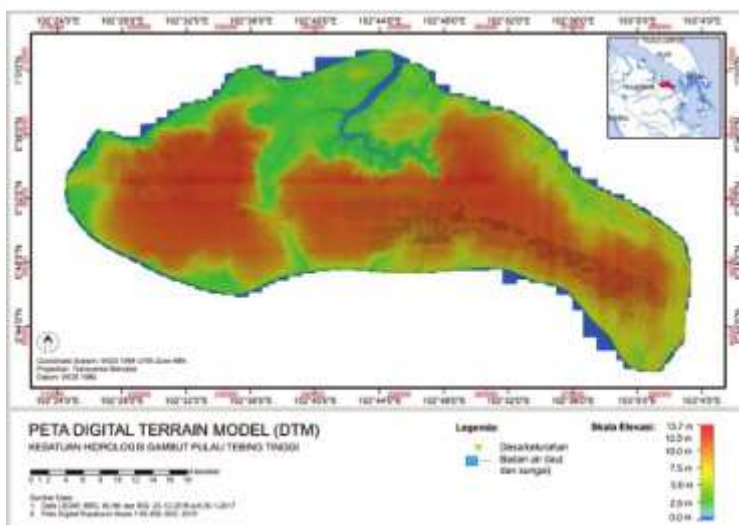
Dengan demikian, seluruh gambut di KHG Tebing Tinggi dikategorikan sebagai gambut ombrogen hanya sebagian kecil saja dikategorikan sebagai gambut topogen di dalam kawasan budidaya. Jika asumsi ketebalan gambut > 3 m merupakan kubah maka 95.192,71 Ha atau 66,27% luas KHG merupakan kubah

gambut, sementara ketebalan gambut < 3 m mencapai 34.720,57 Ha atau 24,17%, dan di luar kawasan gambut dikelilingi oleh landform tanggul yang terdiri atas tanah-tanah aluvial marin (non gambut) sebesar 13.719,72 Ha atau 9,55%.

5.1.7 Topografi Permukaan Gambut

Peta digital terrain model (DTM) KHG Pulau Tebing Tinggi menunjukkan khas gambut tropika dataran rendah (Gambar 5.7). Elevasi berkisar antara 0–13,7 m dpl (Tabel 5.7). Wilayah dengan elevasi yang relatif lebih tinggi berada di puncak-puncak kubah gambut yaitu sekitar Desa Mengkikip, Tanjung Peranap, Tenan dan Tanjung, kemudian bagian utara Desa Kepau Baru dan bagian selatan Desa Sungai Tohor. Elevasi menurun secara perlahan menuju sempadan sungai dan pantai.

Topografi KHG Pulau Tebing Tinggi sangat didominasi kemiringan lahan yang sangat datar dengan kelas kemiringan di bawah 1% yaitu sebesar 78.266,08 ha atau 54,49% dari luas pulau. Kelas kemiringan ini berada di puncak kubah atau bagian tengah pulau yaitu sekitar Desa Mengkikip, Tanjung Peranap, Tenan dan Tanjung, kemudian bagian utara Kepau Baru dan bagian selatan Sungai Tohor. Lahan dengan kemiringan 1–2% hanya 49.867,35 ha atau 34,72% dari luas pulau tersebar secara perlahan menuju kaki-kaki kubah. Lahan-lahan dengan kemiringan 2–3% sebesar 11.631,30 ha atau 8,10% dari luas pulau cenderung dijumpai di tepi-tepi lahan gambut yang berbatasan dengan Sungai Suir dan pantai. Sisanya kemiringan 3–4% sebesar 3.868,27 ha atau 2,69% dari luas pulau dijumpai sedikit di teras-teras sungai atau laut. Lahan-lahan gambut ombrogen umumnya berbentuk cembung dengan penampang melintang seperti lensa dan permukaan lahan berbentuk kubah (Andriessse, 1988).



Gambar 5.7 Peta digital terrain model (DTM) KHG Pulau Tebing Tinggi

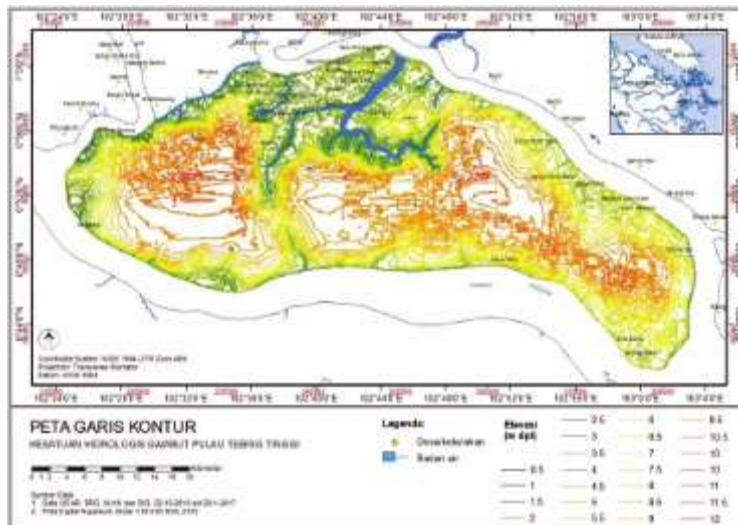
Tabel 5.7 Kelas elevasi lahan di KHG Pulau Tebing Tinggi

No.	Kelas elevasi lahan (m dpl)	Luas	
		(Ha)	%
1.	Kelas elevasi 0–1	522,61	0,45
2.	Kelas elevasi 1–2	8.616,47	7,47
3.	Kelas elevasi 2–3	13.506,30	11,72
4.	Kelas elevasi 3–4	14.272,21	12,38
5.	Kelas elevasi 4–5	13.413,64	11,64
6.	Kelas elevasi 5–6	13.856,32	12,02
7.	Kelas elevasi 6–7	17.711,18	15,36
8.	Kelas elevasi 7–8	18.880,61	16,38
9.	Kelas elevasi > 8	14.498,23	12,58
	Jumlah	115.277,57	100,00

Sumber : Modelling elevasi data DTM LiDAR 2015

Peta garis kontur KHG Pulau Tebing Tinggi (KLHK et al., 2017) dalam interval 50 cm disajikan di Gambar 5.8. Garis kontur yang makin rapat menunjukkan adanya perubahan dan peningkatan kemiringan lahan yang terjal. Peta garis kontur juga menunjukkan bahwa kondisi kubah gambut di bagian timur (perkebunan sagu PT NSP) sudah nampak terpotong-potong akibat pembangunan jaringan kanal produksi yang intensif. Hal ini mengindikasikan bahwa kelandaian yang area kubah gambut di bagian timur sudah berubah

dari bentuk lahan alami. Kondisi ini memerlukan diperhatikan dalam penanganan laju penurunan debit air tanahnya. Dampak dari perubahan kelandaian ini adalah sangat memungkinkan semakin cepatnya air permukaan mengalir keluar kubah, berarti kemungkinan kubah gambut menjadi kering semakin lebih cepat.



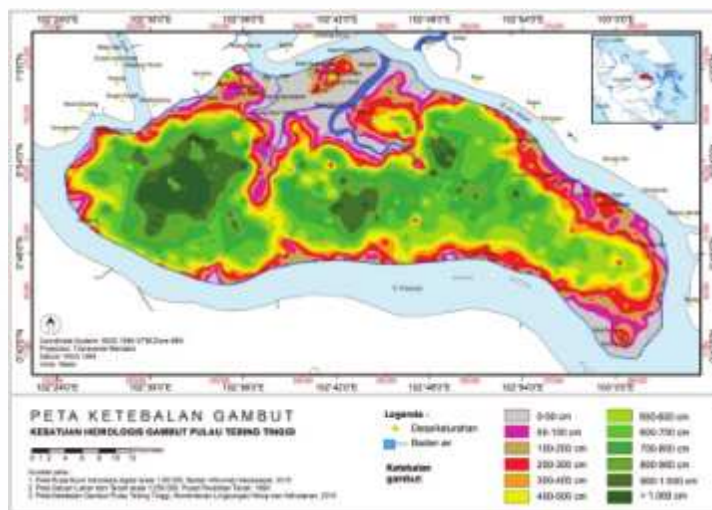
Gambar 5.8 Peta garis kontur KHG Pulau Tebing Tinggi

5.1.8 Ketebalan Gambut

Ketebalan gambut merupakan karakteristik lahan yang penting untuk perlindungan atau pemulihan ekosistem gambut yang terusik. Gambut tebal lebih rentan terhadap usikan sehingga menjadi pertimbangan utama dalam program restorasi, sedangkan gambut dangkal sampai dengan bergambut menjadi sasaran pengembangan alternatif mata pencaharian masyarakat. Ketebalan gambut 3 m merupakan batasan kawasan lindung dan budidaya (PP Nomor 57/2016).

Ketebalan gambut KHG Pulau Tebing Tinggi bervariasi sangat dangkal, dangkal, sampai sedang (1–3 m) di bagian luar pulau, sedangkan gambut dalam sampai sangat dalam (> 3 m) terpusat di bagian tengah pulau (puncak kubah). Ketebalan gambut maksimum mencapai 12,32 m yang dijumpai di bagian barat (Desa Tanjung Peranap). Hasil analisis peta ketebalan gambut KLHK (2015) disajikan pada Gambar 5.9 dan Tabel 5.8.

Kelas ketebalan gambut yang tergolong ekstrim dalam (> 6 m) mencapai luas 54.803,34 ha atau 48,16% dari luas KHG Pulau Tebing Tinggi, gambut sangat dalam (3–6 m) mencapai 36.326,32 ha atau 31,51% dari luas KHG, gambut dalam (2–3 m) sebesar 20.813,51 ha atau 8,06% dari luas KHG, gambut sedang (1–2 m) sebesar 11.218,45 ha atau 9,73% dari luas pulau, gambut dangkal (< 1 m) sebesar 1.478,53 ha atau 1,30% dari luas KHG. Kelas ketebalan gambut dangkal diuraikan lagi menjadi gambut sangat dangkal (0,5–1 m) sebesar 1.475,56 Ha atau 1,30% dari luas KHG dan bergambut (gambut 0–0,5 cm) atau aluvial marin sebesar 2,97 atau 0,00% dari luas pulau. Semua lahan non gambut dijumpai di wilayah pantai dan sepanjang sungai yang berdekatan dengan laut.



Gambar 5.9 Peta kelas ketebalan gambut Pulau Tebing Tinggi (KLHK, 2015)

Tabel 5.8 Kelas ketebalan gambut Pulau Tebing Tinggi

No.	Kelas ketebalan gambut	Tebal (m)	Luas	
			(Ha)	(%)
1	Sangat dangkal/Bergambut	0–0,5	2,97	0,00
1	Dangkal	0,5–1	1.475,56	1,28
2	Sedang	1–2	11.218,45	9,73
3	Dalam	2–3	11.450,93	9,93
4	Sangat dalam	3–4	9.362,58	8,12
5	Sangat dalam	4–5	11.570,20	10,04
6	Sangat dalam	5–6	15.393,54	13,35
7	Ekstrim dalam	6–7	19.163,97	16,62
8	Ekstrim dalam	7–8	14.803,50	12,84
9	Ekstrim dalam	8–9	9.100,78	7,89
10	Ekstrim dalam	9–10	7.265,53	6,30
11	Ekstrim dalam	> 10	4.469,56	3,88
	Jumlah		115.277,57	100,00

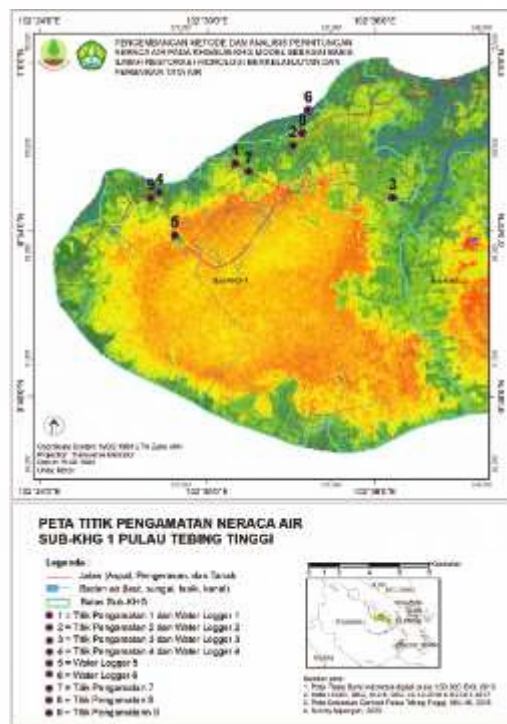
Sumber : Reklasifikasi Peta Ketebalan Gambut Pulau Tebing Tinggi (KLHK, 2015)

5.2 Penentuan titik pengukuran debit

Untuk kalibrasi dan validasi model neraca air, diperlukan data pengukuran debit lapangan. Lokasi penempatan alat ukur harus bisa dipakai untuk analisis besarnya debit total yang dikeluarkan oleh area sub KHG yang dimodelkan. KHG Pulau Tebing Tinggi mewakili zona kubah gambut mengalirkan air ke bagian lereng dan terakumulasi di kaki-kaki kubah gambut. Pemantauan neraca air menggunakan water logger telah ditetapkan pada: a) pada kanal non pasang surut sebanyak 4 unit; b) pada pantai untuk mewakili perilaku pasang surut air laut sebanyak 1 unit; c) pada lahan untuk pengamatan TMAP 2 unit; d) pada udara untuk kalibrasi elevasi alat sebanyak 1 unit. Pengamatan 9 titik pengamatan neraca air di sub-KHG 1 meliputi pengukuran dimensi kanal-kanal utama dan debit kanal. Lokasi titik-titik pengamatan neraca air secara keruangan disajikan pada Gambar 5.10.

Landform kubah gambut KHG Pulau Tebing Tinggi menghasilkan zona-zona pengaliran air yang unik dan berhubungan dengan gradasi kelerengan dari puncak kubah sampai ke kaki kubah. Puncak kubah mempunyai posisi tertinggi

sehingga berfungsi mengalirkan air gravitasi ke bagian lereng dan terakumulasi di kaki-kaki kubah gambut. Kaki-kaki kubah juga mendapat masukan sungai selama periode musim hujan, sehingga zona ini sering mengalami fluktuasi perubahan simpanan akuifer paling besar. Untuk itu, dalam kegiatan analisis perhitungan neraca air maka titik-titik pengamatan neraca air dapat diletakkan pada kaki-kaki kubah KHG/sub-KHG. Selain teknis, pemilihan sub-KHG 1 dikarenakan oleh bagian wilayah KHG mempunyai kanal outlet sedikit sehingga tidak butuh banyak alat pemantauan.



Gambar 5.10 Peta titik pengamatan neraca air Sub-KHG 1 di KHG Pulau Tebing Tinggi

5.3 Pengukuran Debit dan Pemasangan Alat Ukur

5.3.1 Pemasangan Alat Ukur

Pemasangan water logger dilakukan pada titik-titik yang sudah ditentukan sebagaimana diuraikan pada sub bab 5.2. Pada titik-titik tersebut juga dilakukan pengukuran kecepatan aliran untuk analisis debit. Dokumentasi kegiatan pemasangan water logger

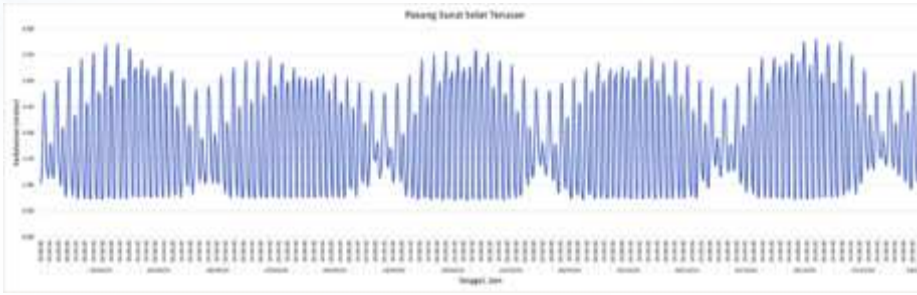
dan pengukuran kecepatan/debit aliran pada titik-titik yang telah ditentukan, disajikan pada Gambar 5.11.



Gambar 5.11 Dokumentasi pemasangan alat dan pengukuran kecepatan pada KHG Pulau Tebing Tinggi.

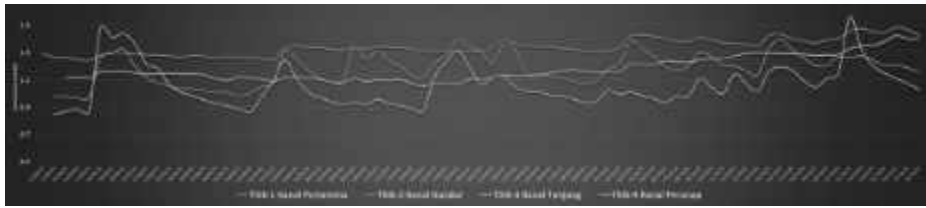
5.3.2 Hasil Pengukuran

Pada sub bab ini disajikan data-data hasil pengukuran yang meliputi data pasang surut, kedalaman air di kanal dan kedalaman muka air tanah. Pada Gambar 5.12 disajikan data hasil pengukuran pasang surut air laut pada KHG Pulau Tebing Tinggi. Berdasarkan data tersebut, pasang surut air laut di perairan sekitar Pulau Tebing Tinggi adalah pasang surut harian ganda dimana dalam 24 jam terjadi dua kali pasang dan dua kali surut. Data ini kemudian dipakai untuk mengetahui apakah pada kanal-kanal outlet dipengaruhi adanya pasang surut atau tidak.

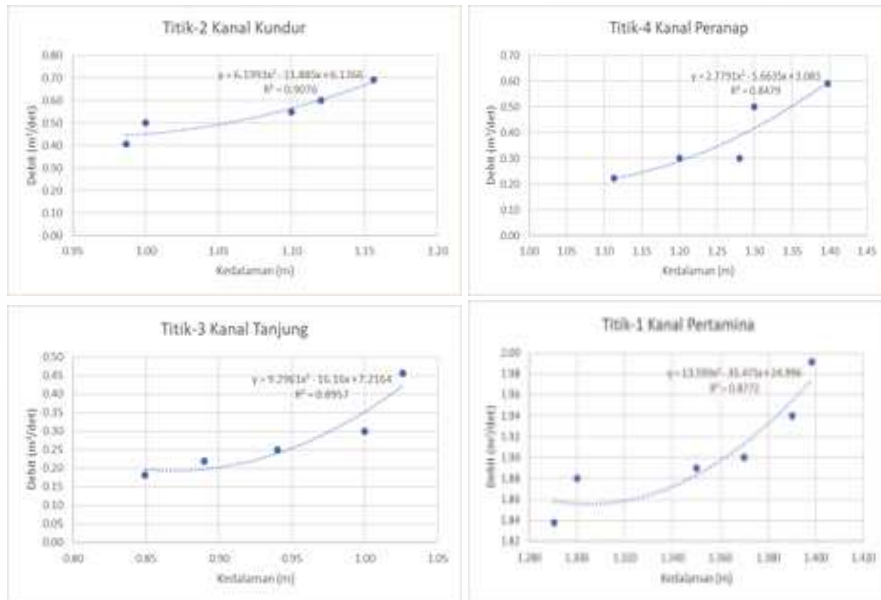


Gambar 5.12 Data hasil pengukuran pasang surut air laut pada perairan pantai di sekitar KHG Pulau Tebing Tinggi.

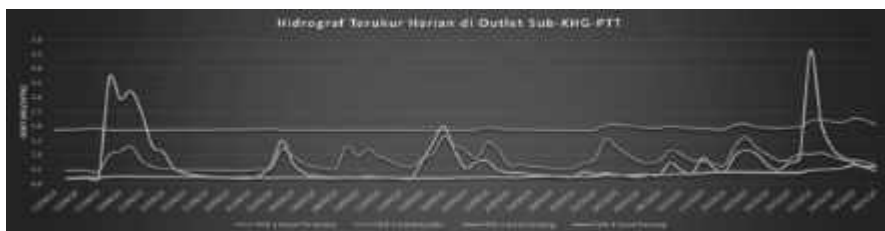
Pada Gambar 5.13 disajikan data hasil pengukuran kedalaman kanal pada KHG Pulau Tebing Tinggi. Hasil pencatatan elevasi muka air dari water loggers kemudian dikorelasikan dengan hasil analisis debit untuk didapatkan rumusan rating curve-nya. Penjelasan tentang rating curve telah disampaikan pada sub bab sebelumnya. Pengukuran kecepatan arus dilakukan dengan menggunakan metode pelampung. Pada Gambar 5.14 disajikan grafik Liku kalibrasi tiap-tiap lokasi pengukuran pada KHG Pulau Tebing Tinggi. Liku kalibrasi merupakan korelasi antara kedalaman kanal dengan debit dari berapa kali pengukuran di lapangan. Rumus liku kalibrasi masing-masing lokasi pengamatan kemudian digunakan untuk mengkonversi data kedalaman yang diperoleh dari pengukuran dengan menggunakan water logger. Pada Gambar 5.15 disajikan data debit masing-masing kanal pada KHG Pulau Tebing Tinggi yang merupakan konversi data kedalaman kanal dengan menggunakan rumus liku kalibrasi. Data debit tersebut kemudian dijumlahkan dan direkap dalam format bulanan, dengan asumsi ada tambahan debit yang tidak terekam sekitar 10 persennya. Pada gambar 5.16 disajikan rekap data debit bulanan total yang keluar dari sub-KHG 1 pada KHG Pulau Tebing Tinggi. Data ini yang kemudian digunakan untuk kalibrasi model neraca air.



Gambar 5.13 Data hasil pengukuran kedalaman kanal pada KHG Pulau Tebing Tinggi.



Gambar 5.14 Liku kalibrasi tiap-tiap lokasi pengukuran kanal pada KHG Pulau Tebing Tinggi.



Gambar 5.15 Data debit masing-masing kanal pada KHG Pulau Tebing Tinggi.



Gambar 5.16 Rekap data debit bulanan total yang keluar dari sub-KHG-1 pada KHG Pulau Tebing Tinggi.

5.4 Analisis Simpanan Air Kubah Gambut

Volume air yang dapat ditampung dalam area kubah gambut dapat dihitung berdasarkan data ketebalan gambut, luas dan total ruang pori. Perbandingan luas hutan atau penggunaan lahan tertentu dengan kebutuhannya, maka dapat dihitung apakah volume air yang dapat ditampung mampu memenuhi kebutuhan air terutama pada saat musim kemarau. Perbedaan elevasi yang diikuti dengan daya hantar air tanah gambut secara horizontal lebih besar daripada vertikal maka aliran air puncak kubah gambut akan mengarah ke lahan-lahan di bawahnya. Volume cadangan air yang tersimpan kubah gambut dan dapat dialirkan di dalam KHG dan sub-KHG Pulau Tebing Tinggi disajikan dalam Tabel 5.9.

Kemampuan fungsi lindung menyimpan air supaya tidak kering selama kemarau diasumsikan tidak terdapat bocoran pada areal tersebut (leak). Kemampuan kawasan fungsi ekosistem lindung gambut 30% dari total KHG/sub-KHG untuk tetap dan membasahi gambut di bawahnya selama tidak ada hujan 5,37-6,46 bulan. Jika kehilangan air drainase (kanal) diperhitungkan maka kemampuannya turun menjadi 2,69-3,23 bulan. Kondisi cadangan air kubah gambut yang sedikit ini tentulah sangat rawan terhadap kekeringan bahkan bencana

kebakaran, mengingat defisit air tanah di wilayah ini bisa mencapai lebih dari tiga bulan terutama terjadi pada bulan Februari, Juni, dan Juli. Periode rawan kekeringan di Sub-KHG 1 terjadi selama 7 bulan (Januari, Februari, Mei, Juni, Juli, Agustus, dan September); rawan kekeringan di Sub-KHG 2 terjadi selama 10 bulan (Januari, Februari, Maret, April, Mei, Juni, Juli, Agustus, September, dan Oktober); rawan kekeringan di Sub-KHG 3 terjadi selama 5 bulan defisit air (Februari, Juni, Juli, Agustus, dan September); rawan kekeringan di Sub-KHG 4 terjadi selama 4 bulan (Februari, Juni, Juli, dan September).

Bila kubah gambut dengan fungsi ekosistem lindung gambut 30% dari total KHG/sub-KHG difungsikan sebagai kawasan resapan air yang dilindungi maka simpanan air kubah gambut adalah 197.351.884,49 m³, dengan rincian sebesar 70.616.755,13 m³ pada Sub-KHG 1; 37.265.855,25 m³ pada Sub-KHG 2; 8.879.329,81 m³ pada Sub-KHG 3; 68.943.358,33 m³ pada Sub-KHG 4; dan 11.646.585,97 m³ pada Sub-KHG 5. Kubah gambut sebagai areal resapan air wajib dijadikan sebagai kawasan lindung yang tidak boleh dibudidayakan.

Khusus untuk kawasan konsesi, pemegang izin bertanggung jawab untuk melakukan restorasi dengan berpegang kepada pedoman yang diberikan pemerintah (Permen KLHK tahun 2017). Area perkebunan PT NSP berada dalam cadangan air sub-KHG 2 dan sub-KHG 5. Kemampuan kawasan fungsi lindung dalam menanggulangi tidak adanya hujan adalah 3 bulan berturut-turut, berdasarkan skenario fungsi lindung > 30% dari kubah. Berdasarkan skenario fungsi lindung gambut total maka kemampuan kubah gambut menjadi bertambah, yaitu 6 bulan, namun demikian perlu ada kepastian bahwa area yang dicadangkan di atas areal PT NSP harus bebas dari gangguan (tidak ada tambahan kanal buatan dan intervensi budidaya apapun) dan bagi area yang sudah terlanjur tidak boleh dibudidayakan kembali setelah pemanenan.

Area cadangan air dengan luas 21.000 ha terdapat pada area produksi PT NSP yang dicirikan dengan telah adanya bangunan kanal-kanal. Dalam skenario ini, areal konservasi memenuhi syarat Permen KLHK tahun 2017 menjadi areal konservasi seluas 30% wilayah produksi dengan mengasumsikan bahwa areal di luar batas kerja bukan merupakan wilayah hutan produksi (hutan desa) atau lahan gambut yang tidak dibudidayakan.

Tabel 5.1 Kubah gambut dan volume cadangan air KHG Pulau Tebing Tinggi pada skenario fungsi lindung ekosistem gambut 30 % KHG

No.	Bulan	KHG Pulau Tebing Tinggi					
		Sub-KHG 1	Sub-KHG 2	Sub-KHG 3	Sub-KHG 4	Sub-KHG 5	KHG PTT
A	Luas fungsi lindung gambut 30 % KHG PTT (m ²)	128.521.036,73	67.017.812,24	15.074.201,12	129.167.408,87	23.768.542,81	363.549.001,77
B	Selisih muka air terendah (rata-rata 1,0 m) terhadap elevasi (m)	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
C	Volume gambut (m ³) [AxB]	128.521.036,73	67.017.812,24	15.074.201,12	129.167.408,87	23.768.542,81	363.549.001,77
D	Konstanta bagian gambut yang berpori dan menyimpan air	0,70 s/d 0,95	0,70 s/d 0,95	0,70 s/d 0,95	0,70 s/d 0,95	0,70 s/d 0,95	0,70 s/d 0,95
E	Konstanta bagian pori gambut yang dapat mengalirkan air	0,70	0,70	0,70	0,70	0,70	0,70
F	Volume cadangan air [Cx Dx E] (m ³)	70.616,755,13	37.265.855,25	8.879,329,81	68.943,358,33	11.646.585,97	197.351.884,49
G	Evapotranspirasi (m ³ /day) [Ax E To 2.37-3.04 mm/hari]	390.703,95	203.734,15	45.825,57	392.668,92	72.256,37	1.105,188,97
H	Kemampuan fungsi lindung selama tidak ada hujan (hari) [F/G]	180,74	182,91	193,76	175,58	161,18	178,57
I	Kemampuan fungsi lindung selama tidak ada hujan (bulan) [H/30]	6,02	6,10	6,46	5,85	5,37	5,95
J	Faktor resapan air efektif akibat pengaruh kanalisasi (Fx50 %)	35.308,377,57	18.632.927,62	4.439,664,90	34.471,679,17	5.823,292,99	98.675.942,25
K	Kemampuan fungsi lindung selama tidak ada hujan (hari) [J/G]	90,37	91,46	96,88	87,79	80,59	89,28
L	Kemampuan fungsi lindung selama tidak ada hujan (bulan) [K/30]	3,01	3,05	3,23	2,93	2,69	2,98

5.5 Analisis Neraca Air Klimatologis

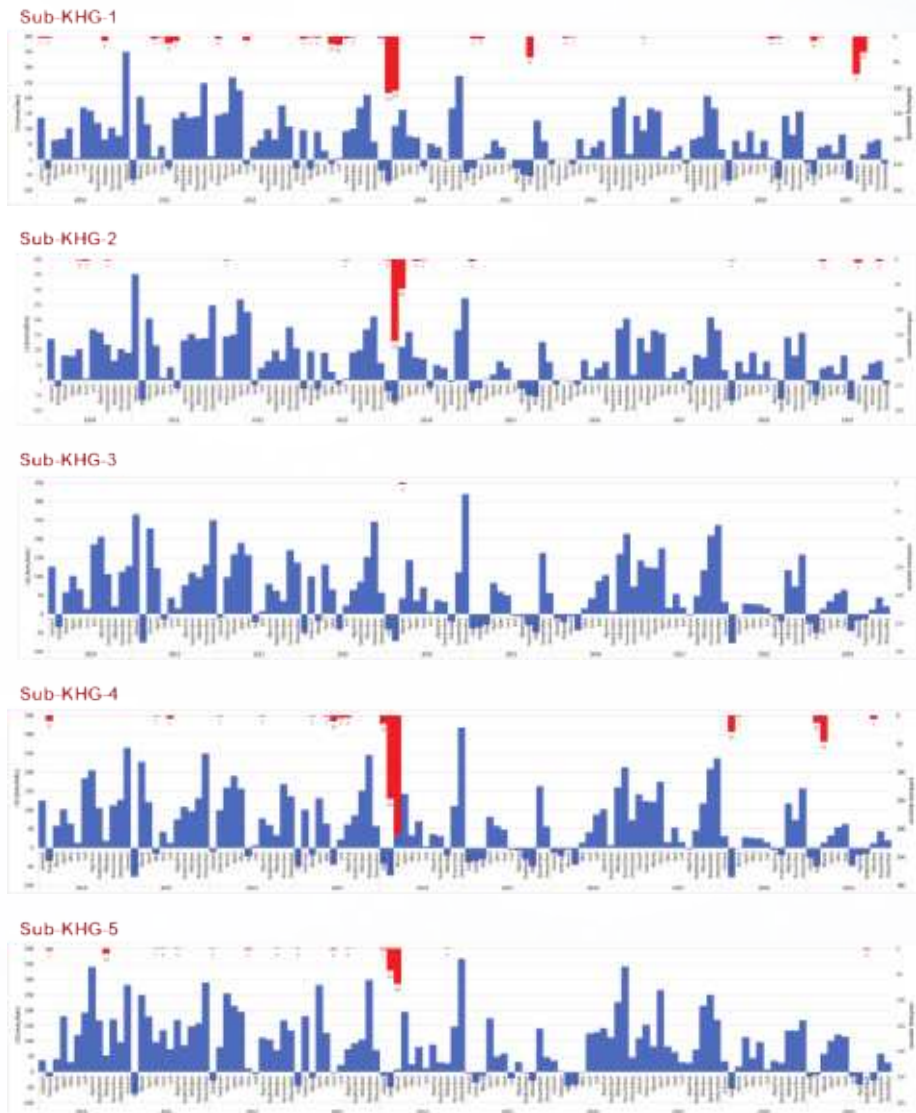
Pada sub bab ini disajikan hasil analisis neraca air klimatologis untuk masing-masing KHG. Neraca air klimatologis yang merupakan gambaran bulan-bulan basah dan bulan-bulan kering dibandingkan dengan data kejadian kebakaran dalam bentuk data hotspot. Titik panas (*hotspot*) adalah indikator kebakaran hutan yang mendeteksi suatu lokasi yang memiliki suhu relatif lebih tinggi dibandingkan

dengan suhu disekitarnya. Periode kebakaran erat kaitannya dengan puncak musim kemarau. Strategi pemantauan hotspot dijadikan sebagai identifikasi periode kejadian kebakaran hutan dan lahan sehingga pencegahan dapat lebih ditingkatkan pada periode musim kemarau. Selain itu, dengan mengetahui pola distribusi hotspot dapat diketahui periode sebelum kebakaran (*pre fire*), puncak kebakaran (*peak fire*), dan periode setelah kebakaran (*post fire*).

Data sebaran *hotspot* bisa diperoleh dari *Fire Information for Resource Management System (FIRMS)* yang dapat diakses secara daring melalui *website*: <https://firms.modaps.eosdis.nasa.gov/download/>. Pengambilan data hotspot dilakukan dengan membuat request data yang berisi pengaturan wilayah, tanggal, *format*. Data yang *download* diolah dengan *software* GIS dan di *clip* berdasarkan lokasi data. Data dari FIRMS dilengkapi dengan atribut lengkap yang mencantumkan *brightness*, tanggal, waktu, *confidence*, satelit (Terra atau Aqua) dan sebagainya. Disarankan pemilihan data dipilih *hotspot* dengan tingkat *confidence* 60%.

Neraca air klimatologis masing-masing sub-KHG pada KHG Pulau Tebing Tinggi disajikan pada Gambar 5.17. Pada gambar tersebut, disajikan kondisi neraca air yang terdiri atas surplus dan defisit. Pada kondisi surplus berarti pada bulan tersebut mengalami bulan basah, sedangkan pada kondisi defisit mengalami bulan kering. Setelah di *overlay* kan dengan data *hotspot*, nampak bahwa kebakaran lahan gambut terjadi saat bulan-bulan kering. Oleh karena itu, saat neraca air defisit perlu waspada terhadap kebakaran lahan gambut. Secara keseluruhan terlihat bahwa neraca air dari tahun ke tahun secara temporal cenderung mengalami penurunan dari surplus menuju defisit. Sedangkan secara spasial kondisi neraca air masing-masing sub KHG relatif tidak mengalami perbedaan yang signifikan.

Hasil analisis neraca air klimatologis ini dalam praktik di lapangan bisa dimanfaatkan untuk menguji kinerja atau ketahanan KHG dalam menyimpan air dan atau menguji sistem tata air yang sudah dibuat untuk intervensi pembasahan dengan cara meng*overlay*kan dengan data historis muka air tanah. Pada kondisi bulan basah (surplus) seharusnya muka air tanah naik pada bulan tersebut, namun jika muka airnya tidak naik atau bahkan turun maka berarti pada lokasi tersebut mengalami *over drain*. Sebaliknya, jika pada bulan kering (defisit), seharusnya terjadi penurunan muka air tanah. Namun jika data pengukuran muka air tanah yang ada tidak terjadi penurunan, maka hal ini berarti bahwa pada lokasi tersebut kondisi KHGnya masih bagus dalam menyimpan air, atau jika sedang dilakukan intervensi pembasahan, maka sistem tata airnya bekerja dengan baik.



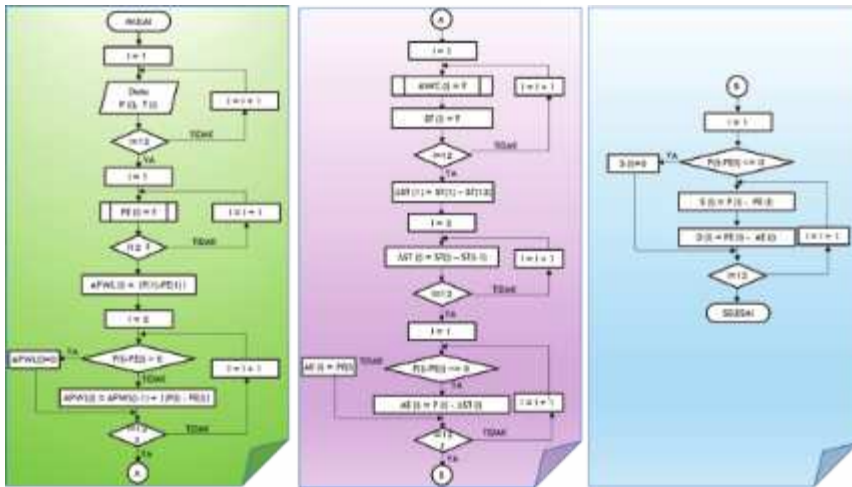
Gambar 5.17 Kondisi neraca air klimatologis pada KHG Pulau Tebing Tinggi

5.6 Analisis Neraca Air TMWB Model

5.6.1 Pembuatan TMWB Model

Model neraca air TMWB model dibuat mengikuti algoritma yang telah disusun seperti ditunjukkan pada Gambar 5.18. Aplikasi TMWB Model dibuat menggunakan *software Ms.Excel* dengan mengikuti bagan alir tersebut. Pengguna tinggal menginputkan data-data yang dibutuhkan ke dalam *sheet* yang sudah disediakan, seperti

luas KHG/Sub-KHG, curah hujan, suhu, kelembaban, lama penyinaran matahari, kecepatan angin, jenis vegetasi dan tekstur tanah. Pada Gambar 5.19 disajikan tampilan aplikasi TMWB Model yang telah dibuat pada pemodelan ini.



Gambar 5.18 Alur algoritma penyusunan model neraca air TMWB



Gambar 5.19 Tampilan aplikasi TMWB Model

5.6.2 Petunjuk Operasional TMWB Model

Ketika membuka aplikasi TMWB Model dengan menggunakan *software Microsoft excel*, maka akan dijumpai banyak *sheet* yang masing-masing memiliki fungsi khusus dalam pemodelan. Halaman depan dari aplikasi ini yang merupakan pusat kontrol untuk simulasi berbagai simulasi skenario input berada pada *sheet* TMWB. *Sheet* “TMWB” terdiri dari beberapa

bagian input data, yaitu:

1. Data Lokasi Tinjauan
2. Data Klimatologi
3. Data Kemampuan Tanah Menahan Air
4. Data *Direct Run Off* (DRO)

Navigator terdapat pada *sheet* “TMWB”, karena pada *sheet* ini akan mengontrol rekam jejak dari data yang diinputkan. Input data tidak hanya pada *sheet* ini tetapi juga diberi tautan untuk masuk ke tautan input data lainnya. Adapun penjelasan dari masing-masing bagian dari *sheet* “TMWB” tersebut diuraikan pada Tabel 5.10.

Tabel 5.10 Keterangan dari nama-nama *Sheet*

No	Nama <i>sheet</i>	Uraian
1	D_T	Sheet untuk menginput data Suhu
2	D_A	Sheet yang berupa fasilitas untuk menginput data Luas Per Sub KHG
3	D_CH	Sheet untuk menginput data Curah Hujan
4	Tbl	Sheet yang terdiri dari beberapa Tabel-tabel untuk mencari koefisien yang diperlukan dalam menghitung TWB <ol style="list-style-type: none"> 1. Tabel Faktor Koreksi (F) Untuk Kedudukan Matahari Atau Faktor Lintang 2. Tabel Textur Tanah 3. Tabel Nilai Cadangan Lengas Tanah Untuk Kemampuan Tanah Menahan Air Sebesar 100 mm
5	Olah-Data	Sheet yang digunakan untuk mengolah data yang ada di sheet D_CH (Data Curah Hujan) dan D_T (Data Suhu)
6	H_WHC	Sheet yang digunakan untuk menghitung kapasitas penyimpanan Air (HWC=Holding Water Capacity)
7	TMWB	Sheet ini merupakan Halaman Depan, dan juga untuk input data secara umum, selain itu juga sebagai navigator dari model ini
8	Grafik	Grafik merupakan Salah tampilan untuk menunjukkan hasil yang berupa grafik
9	H_DRO	Sheet yang berisi tentang formula untuk menyelesaikan nilai Direct Run Off (DRO) model <p>Disamping itu di sheet ini juga untuk menghitung tingkat kesalahan yang berupa:</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Korelasi (R) 2. Root Mean Square Error (RMSE) 3. E 4. Mean Absolut Error (MAE)

Bagian “Data Lokasi Tinjauan” di *Sheet* TMWB

Bagian dari input data untuk “Data Lokasi Tinjauan” dapat dilihat pada Gambar 5.20., dengan penjelasan dari gambar tersebut disajikan pada Tabel 5.11.



Gambar 5.20 Bagain input “Data Lokasi Tinjauan” pada Sheet “TMWB”

Tabel 5.11 Penjelasan input data umum

Input Data	Keterangan
Lokasi :	Mengisikan data terkait lokasi daerah yang ditinjau
Nama KHG :	Data yang diisikan adalah Nama KHG yang akan ditinjau
Jumlah Sub KHG :	Isi data jumlah Sub-sub KHG yang terdapat Pada KHG tersebut di atas
Data Luas Sub KHG :	Pada input data ini adalah berupa tautan ke sheet lain untuk mengisi jumlah luasan pada masing-masing sub KHG
SUB KHG :	Mengisikan data nama Sub KHG yang akan ditinjau, adapun pengisian data dengan pulldown dengan nama yang sudah ditentukan yg berdasarkan nama KHG
Luas Sub KHG Mendahara - 4:	Luas sub KHG inu bukan merupakan input data, tetapi sudah merupakan hasil input data di “Data Luas Sub KHG “. Maksudnya pada bagian ini hanya menunjukkan bahwa luasan pada sub KHG yg ditinjau
Lintang :	Merupakan isian data terhadap posisi dari lokasi yang ditinjau berdasarkan Lintang dan Bujur nya
Bujur :	Mengisi data lokasi bujur pada daerah tinjauan
Elevasi :	Nilai elevasi stasiun data klimatologi

Bagian “Data Klimatologi” di Sheet TWMB

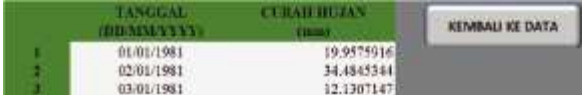

Bagian input “Data Klimatologi” ini terdiri dari 8 bagian yang harus diisi, dimana 5 (lima) data tersebut berupa data *series*. Bagian tersebut dapat dilihat pada Gambar 5.21 berikut ini. Penjelasan

dari input data “Data Klimatologi” disajikan pada Tabel 5.12.

DATA KLIMATOLOGI		
Tahun Tinjauan :	2020	
Tipe Data Suhu :	C-Celsius	[Derajat Celcius]
Data Hujan :	Isi data	mm
Data Suhu :	Isi data	[Derajat Celcius]
Data Kelembaban :	Isi data	%
Data Lama Penyinaran :	Isi data	%
Kecepatan Angin :	Isi data	%
Tipe Evaporasi :	ThornWhite-Koef	

Gambar 5.21 Bagain input “Data Klimatologi” pada Sheet “TWMB”

Tabel 5.12 Penjelasan input data klimatologi

Jenis Data	Keterangan
Tahun Tinjauan:	Tahun tinjauan diisikan berdasarkan tahun berapa yang akan di simulasikan
Tipe Data Suhu:	<p>Tipe Suhu ada Tiga jenis yaitu:</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Celsius (C) 2. Fahrenheit (F) 3. Kelvin (K) <p>Hal tersebut tergantung dari jenis data yang ada</p>
Data Hujan:	<p>Data ini juga merupakan input dengan Link ke sheet berikutnya. Adapun format dari pengisian data ini adalah 2 kolom, kolom pertama berisi tanggal dan kolom dua berisi jumlah curah hujan total per bulannya.</p> 
Data Suhu :	<p>Input data ini berupa tautan ke sheet berikutnya. Adapun format dari pengisian data ini adalah 2 kolom, kolom pertama berisi tanggal dan kolom dua berisi jumlah curah hujan total per bulannya.</p> 
Data Kelembaban:	<p>Input data ini berupa tautan ke sheet berikutnya. Adapun formatnya sama dengan Data Suhu di atas, yaitu terdiri dari 2 kolom, kolom pertama berisi tanggal dan kolom dua berisi jumlah Data <i>Kelembaban</i> per bulannya</p> 
Data Lama Penyinaran	<p>Sama seperti data yang sebelumnya, format pengisian data Lama Penyinaran, yaitu terdiri dari 2 kolom, kolom pertama berisi tanggal dan kolom dua berisi jumlah Data <i>Lama Penyinaran</i> per bulannya</p> 
Data Kecepatan Angin	<p>Data <i>Kecepatan Angin</i> format pengisian sama dengan data Lama Penyinaran, yaitu terdiri dari 2 kolom, kolom pertama berisi tanggal dan kolom dua berisi jumlah Data Kecepatan angin per bulannya</p>

Bagian “Data Klimatologi” di *Sheet TWMB*

Bagian input “Data Kemampuan Tanah Menahan Air” ini terdiri dari 2 bagian yang harus diisi. Dimana bagian tersebut dapat dilihat pada Gambar 5.22. Penjelasan dari Gambar tersebut disajikan pada table 5.13.

DATA KEMAMPUAN TANAH MENAHAN AIR	
Jumlah Jenis Textur :	3
Data Textur :	Isi Data

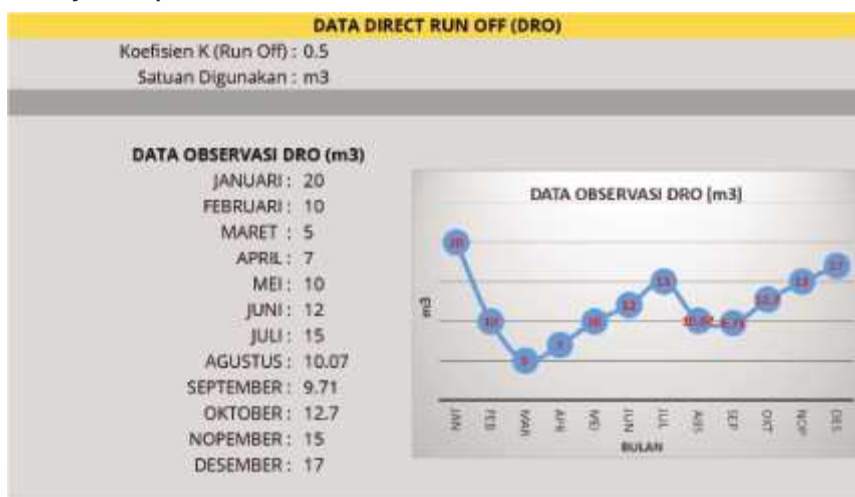
Gambar 5.22 Bagain input “Data Kemampuan Tanah Menahan Air” pada Sheet “TMWB

Tabel 5.13 Penjelasan input data tekstur tanah

Jenis Data	Keterangan Jenis Data																																					
Jumlah Jenis Textur :	Jumlah jenis pengelompokan tata guna lahan yang ada pada daerah tinjauan																																					
Data Textur:	<p>Pengisian data ini melalui sheet lain yaitu Sheet “D_WHC” seperti tampilan di bawah ini</p> <div data-bbox="408 432 1190 579" style="border: 1px solid black; padding: 5px;"> <p style="text-align: right; margin-bottom: 0;">KEMBALI KE DATA</p> <p>Jumlah Jenis Textur: 3</p> <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th style="width: 5%;">NO</th> <th style="width: 30%;">JENIS VEGETASI BAWAH</th> <th style="width: 45%;">JENIS VEGETASI ATAS</th> <th style="width: 20%;">LUAS (H)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>1</td> <td>Lempung berdebu</td> <td>Tanaman Perakaran Dalam (Legume, Padang Rumput, Semak Belukar, dll)</td> <td>40</td> </tr> <tr> <td>2</td> <td>Lempung</td> <td>Tanaman Perakaran Dangkal (Bayam, Kacang, Wortel, dll)</td> <td>60</td> </tr> <tr> <td>3</td> <td>Lempung berdebu</td> <td>Tanaman Perakaran Sedang (Jagung, Tembakau, dll)</td> <td>20</td> </tr> </tbody> </table> </div> <p>Dimana jenis vegetasi bawah (Kolom 2) digolongkan terhadap:</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Pasir Halus 2. Lempung Berpasir Halus 3. Lempung berdebu 4. Lempung Berliat 5. Lempung <p>Akan tetapi yang tersebut di atas merupakan klasifikasi untuk kondisi tanah mineral. Sedangkan di wilayah gambut dapat dikonversikan sebagai berikut:</p> <table border="1" data-bbox="445 890 1177 1290" style="width: 100%; border-collapse: collapse; margin: 10px 0;"> <thead> <tr> <th style="width: 10%;">NO</th> <th style="width: 45%;">Tanah Mineral</th> <th style="width: 45%;">Tanah Gambut</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>1</td> <td>Haplofibrists</td> <td>Pasir Halus</td> </tr> <tr> <td>2</td> <td>Haplohemists</td> <td>Lempung Berpasir Halus</td> </tr> <tr> <td>3</td> <td>Haplosaprists</td> <td>Lempung berdebu</td> </tr> <tr> <td>4</td> <td>Hemik</td> <td>Lempung Berpasir Halus</td> </tr> <tr> <td>5</td> <td>Saprik</td> <td>Lempung berdebu</td> </tr> <tr> <td>6</td> <td>Sulfaquents</td> <td>Pasir Halus</td> </tr> </tbody> </table> <p>Sedangkan vegetasi atas (Kolom 3) terdiri dari golongan:</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Tanaman Perakaran Dangkal (Bayam, Kacang, Wortel, dll) 2. Tanaman Perakaran Sedang (Jagung, Tembakau, dll) 3. Tanaman Perakaran Dalam (Legume, Padang Rumput, Semak Belukar, dll) 4. Tanaman Perkebunan 5. Hutan <p>Input data vegetasi tanah bagian atas dan bawah ini untuk mencari nilai:</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Air Tersedia (mm/m) 2. Kedalaman Perakaran 3. Kemampuan Tanah Menahan Air (mm) 	NO	JENIS VEGETASI BAWAH	JENIS VEGETASI ATAS	LUAS (H)	1	Lempung berdebu	Tanaman Perakaran Dalam (Legume, Padang Rumput, Semak Belukar, dll)	40	2	Lempung	Tanaman Perakaran Dangkal (Bayam, Kacang, Wortel, dll)	60	3	Lempung berdebu	Tanaman Perakaran Sedang (Jagung, Tembakau, dll)	20	NO	Tanah Mineral	Tanah Gambut	1	Haplofibrists	Pasir Halus	2	Haplohemists	Lempung Berpasir Halus	3	Haplosaprists	Lempung berdebu	4	Hemik	Lempung Berpasir Halus	5	Saprik	Lempung berdebu	6	Sulfaquents	Pasir Halus
NO	JENIS VEGETASI BAWAH	JENIS VEGETASI ATAS	LUAS (H)																																			
1	Lempung berdebu	Tanaman Perakaran Dalam (Legume, Padang Rumput, Semak Belukar, dll)	40																																			
2	Lempung	Tanaman Perakaran Dangkal (Bayam, Kacang, Wortel, dll)	60																																			
3	Lempung berdebu	Tanaman Perakaran Sedang (Jagung, Tembakau, dll)	20																																			
NO	Tanah Mineral	Tanah Gambut																																				
1	Haplofibrists	Pasir Halus																																				
2	Haplohemists	Lempung Berpasir Halus																																				
3	Haplosaprists	Lempung berdebu																																				
4	Hemik	Lempung Berpasir Halus																																				
5	Saprik	Lempung berdebu																																				
6	Sulfaquents	Pasir Halus																																				

Bagian “Data Direct Run Off” di Sheet “TMWB”

Input data pada bagian ini adalah data DRO (*Direct Run Off*) hasil pengukuran lapangan. Tampilan dari input data tersebut dapat dilihat pada Gambar 5.23. Penjelasan bagian-bagian input disajikan pada Tabel 5.14.



Gambar 5.23 Bagain input “Data Direct Run Off (DRO)” pada Sheet “TMWB”

Tabel 5.14 Penjelasan input data koefisien run off

Jenis Data	Keterangan Jenis Data
Koefisien K (Run Off) :	Koefisien run off
Satuan Yang digunakan:	Satuan yang digunakan untuk menginput nilai DRO, dengan pilihan mm (tinggi) dan m ³ (volume)
Data Observasi DRO	Pada bagian ini untuk menginput data observasi lapangan dari bulan januari sampai dengan Desember. Sebagai kontrol input data tersebut maka di tampilkan grafik dari DRO lapangan tersebut.

Bagian “Metode Akurasi Model” di Sheet “TWMB”

Dalam akurasi model ada beberapa pilihan parameter untuk melihat akurasinya, yaitu: RMSE, R, MAE, maupun E. Metode yang digunakan dalam menganalisis adalah opsi yang dipilih

dengan kata “YA”. Penjelasannya disajikan pada Tabel 5.15.

METODE AKURASI MODEL	
Root Mean Square Error (RMSE):	YA
Koefisien Korelasi (R):	YA
Mean Absolut Error (MAE):	TIDAK
Efisiensi Nash (E):	TIDAK

Gambar 5.24 Bagain input “Data Akurasi Model” pada Sheet “TMWB”

Tabel 5.15 Penjelasan input data parameter error

Jenis Data	Keterangan Jenis Data
Root Mean Square Error (RMSE):	Pilihan Opsinya “YA” atau “TIDAK” Jika dipilih ya maka perhitungan numeriknya menggunakan RMSE
Koefisien Korelasi (R):	Pilihan Opsinya “YA” atau “TIDAK” Koefisien Korelasi akan di hitung apabila diisi dengan kata-kata “A” apabila
Mean Absolut Error (MAE):	Pilihan Opsinya “YA” atau “TIDAK” Jika dipilih ya maka perhitungan numeriknya menggunakan MAE
Efisiensi Nash (E):	Pilihan Opsinya “YA” atau “TIDAK” Jika dipilih ya maka perhitungan numeriknya menggunakan E

5.6.3 Kalibrasi dan Analisis Akurasi

Pada bagian ini disajikan bagaimana melakukan kalibrasi model. Hanya satu parameter yang dikalibrasi pada TMWB Model, yaitu Koefisien *Run Off* (*K*). Yang dimaksud dengan koefisien *run off* di sini berbeda dengan koefisien *run off* dari hujan. Dalam konteks pemodelan neraca air TMWB, yang dimaksud dengan koefisien *run off* di sini adalah prosentasi bagian dari kelebihan air (setelah dikurangkan antara hujan dan evapotranspirasi aktual) yang akan melimpas sebagai *run off*.

Data curah hujan dan suhu yang disajikan dalam pemodelan

ini adalah data dari tahun 2009 sampai dengan 2019. Sedangkan data Direct Run Off (DRO) hasil pengukuran lapangan terdapat 3 (tiga) bulan di tahun 2020, yaitu bulan Agustus sampai dengan Oktober tahun 2020 yang disajikan pada Tabel 5.16., untuk itu data curah hujan dan suhu prediksi yang akan digunakan untuk tahun 2020 adalah data curah hujan rerata dari tahun data yang tersedia. Adapun data curah hujan, suhu dan tutupan lahan yang digunakan untuk kalibrasi disajikan pada Tabel 5.17, Table 5.18, dan Tabel 5.19.

Tabel 5.16 Data Direct Run Off di Sub KHG-1 Pulau Tebing Tinggi

NOMOR	BULAN	NILAI DIRECT RUN OFF (juta m ³)
1	AGUSTUS	10.07
2	SEPTEMBER	9.71
3	OKTOBER	12.7

Tabel 5.17 Data curah hujan rerata bulanan pada Sub KHG 1 Pulau Tebing Tinggi

TAHUN	BULAN KE -											
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
2010	199.47	41.73	150.81	145.41	187.17	83.64	232.44	240.60	200.37	150.81	178.62	150.54
2011	417.63	14.16	286.23	192.06	93.00	120.66	59.10	215.04	229.95	219.93	203.73	314.10
2012	73.83	205.98	219.54	333.42	309.66	61.86	120.90	144.69	181.41	144.24	251.16	177.21
2013	48.63	168.18	58.59	173.64	112.80	64.41	84.54	174.96	180.36	249.03	283.11	125.04
2014	34.68	0.00	186.81	240.87	160.20	150.84	59.16	136.71	118.86	78.90	243.69	342.69
2015	36.99	50.04	87.75	105.30	150.03	121.95	85.59	55.35	22.17	14.01	205.17	138.09
2016	69.99	74.67	88.35	73.77	152.28	92.64	127.38	149.37	93.81	256.26	281.16	95.88
2017	222.42	162.18	251.34	244.29	90.75	107.91	128.61	74.52	150.78	160.80	282.99	242.55
2018	107.73	10.74	146.97	111.84	176.55	90.90	145.83	93.00	21.66	228.00	161.13	235.29
2019	68.55	34.50	129.72	135.60	109.20	162.12	23.49	84.84	89.70	140.43	142.92	59.31
2020	127.99	76.218	160.611	175.62	154.164	105.693	106.704	136.908	128.907	164.241	223.368	188.07

Tabel 5.18 Data suhu rerata bulanan pada Sub KHG 1 Pulau Tebing Tinggi

TAHUN	BULAN KE -											
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
2010	26.10	27.13	27.16	27.57	27.97	26.87	26.36	26.41	26.89	26.60	26.39	25.63
2011	25.14	26.21	26.27	26.71	27.18	26.83	26.68	26.62	26.59	26.57	26.30	25.85
2012	26.04	26.43	26.33	26.92	27.11	27.12	26.43	26.57	26.59	27.02	26.52	26.34
2013	26.13	26.07	27.32	27.27	27.38	27.28	26.43	26.48	26.52	26.71	26.49	25.96
2014	25.22	26.44	27.15	27.06	27.70	27.41	27.05	26.47	26.98	27.39	26.69	25.92
2015	25.64	25.85	26.79	27.22	27.24	27.10	26.95	26.81	26.77	27.33	27.13	26.64
2016	27.13	26.61	27.59	28.08	27.82	26.92	26.80	26.96	26.92	26.59	26.61	26.14
2017	26.13	26.08	26.55	26.89	27.15	26.95	26.51	26.57	26.83	26.99	26.64	26.36
2018	25.68	26.28	27.12	27.55	27.48	26.63	26.55	26.60	26.60	27.01	26.69	26.66
2019	26.72	27.12	27.57	27.84	27.54	27.10	26.96	26.94	26.99	27.14	27.26	26.24
2020	25.99	26.42	26.98	27.31	27.46	27.02	26.67	26.64	26.77	26.94	26.67	26.17

Tabel 5.19 Data tutupan lahan yang digunakan pada Sub KHG1 Pulau Tebing Tinggi

No.	Jenis Tutupan Lahan	Luas (Ha)	Luas (M ²)
1	Pada Tebas	Tanaman Perikanan Cengkeh (Banyar, Kaurang, Wotet, dll)	0
2	Lempang Bersaji Halus	Tanaman Perikanan Cengkeh (Banyar, Kaurang, Wotet, dll)	0
3	Lempang Bersaji	Tanaman Perikanan Cengkeh (Banyar, Kaurang, Wotet, dll)	0
4	Lempang Bersaji	Tanaman Perikanan Cengkeh (Banyar, Kaurang, Wotet, dll)	0
5	Lempang	Tanaman Perikanan Cengkeh (Banyar, Kaurang, Wotet, dll)	0
6	Pada Tebas	Tanaman Perikanan Sedang (Gagang, Terbitaku, dll)	115,88
7	Lempang Bersaji Halus	Tanaman Perikanan Sedang (Gagang, Terbitaku, dll)	4203,7
8	Lempang Bersaji	Tanaman Perikanan Sedang (Gagang, Terbitaku, dll)	0
9	Lempang Bersaji	Tanaman Perikanan Sedang (Gagang, Terbitaku, dll)	603,68
10	Lempang	Tanaman Perikanan Sedang (Gagang, Terbitaku, dll)	1723,28
11	Pada Tebas	Tanaman Perikanan Dalam (Lagune, Padang Kumpang, Sema & Bekukan, dll)	115,79
12	Lempang Bersaji Halus	Tanaman Perikanan Dalam (Lagune, Padang Kumpang, Sema & Bekukan, dll)	722,88
13	Lempang Bersaji	Tanaman Perikanan Dalam (Lagune, Padang Kumpang, Sema & Bekukan, dll)	0
14	Lempang Bersaji	Tanaman Perikanan Dalam (Lagune, Padang Kumpang, Sema & Bekukan, dll)	887,88
15	Lempang	Tanaman Perikanan Dalam (Lagune, Padang Kumpang, Sema & Bekukan, dll)	3138,45
16	Pada Tebas	Tanaman Perkebunan	156,6
17	Lempang Bersaji Halus	Tanaman Perkebunan	303,64
18	Lempang Bersaji	Tanaman Perkebunan	0
19	Lempang Bersaji	Tanaman Perkebunan	94,8
20	Lempang	Tanaman Perkebunan	1572,35
21	Pada Tebas	Rukan	1068,59
22	Lempang Bersaji Halus	Rukan	3499,68
23	Lempang Bersaji	Rukan	0
24	Lempang Bersaji	Rukan	887,8
25	Lempang	Rukan	9031,36
26	Pada Tebas	Pemukiman	44,21
27	Lempang Bersaji Halus	Pemukiman	549,9
28	Lempang Bersaji	Pemukiman	0
29	Lempang Bersaji	Pemukiman	44,31
30	Lempang	Pemukiman	86,6

Kalibrasi dilakukan dengan melakukan coba ulang terhadap parameter nilai koefisien DRO (k) sedemikian sehingga didapatkan debit limpasan langsung dari hitungan model mendekati hasil debit limpasan langsung dari hasil pengukuran di lapangan. Pada Tabel 5.20 disajikan proses kalibrasi dengan melakukan coba ulang nilai k mulai dari 0,1 sampai dengan 1,0. Berdasarkan proses kalibrasi tersebut, didapatkan hasil simulasi nilai kesalahan terkecil yaitu simulasi yang ke-5 dengan nilai RMSE adalah 0,91 dan RMSE nya adalah 1 dengan nilai k sebesar 0.5. Proses kalibrasi dilakukan dengan resolusi yang lebih detil lagi dengan melakukan coba ulang nilai k mulai dari 0,45 sampai dengan 0.54. Berdasarkan proses kalibrasi tersebut, didapatkan hasil simulasi bahwa dengan nilai k sebesar 0.5 tetap memberikan kesalahan yang terkecil.

Berdasarkan proses kalibrasi ini, dapat disimpulkan bahwa nilai k yang diambil adalah 0,5, karena mempunyai tingkat kesalahan yang paling kecil yaitu 0.91 untuk nilai RMSE dan 1.00 untuk nilai koefisien korelasinya. Ini memberikan nilai yang mendekati

sempurna, karena data lapangan yang digunakan untuk kalibrasi hanya 3 bulan. Kemungkinan nilai error dan korelasinya akan berkurang ketika telah dipakai data pengukuran lapangan selama satu tahun. Grafik perbandingan antara debit hasil simulasi model hidrologi dengan debit hasil pengukuran disajikan pada Gambar 5.25.

Satu temuan yang menarik dari pemodelan ini adalah bahwa asumsi Thornwaite yang menyatakan: *50 persen dari kelebihan air di daerah tangkapan air akan menjadi limpasan setiap bulan, dan 50% sisanya ditahan yang akan menjadi limpasan di bulan berikutnya*, terbukti memberikan simulasi yang terbaik untuk pemodelan hidrologi neraca air di lahan gambut pada kondisi eksisting di Sub-KHG 1 Pulau Tebing Tinggi (k:0.5). Nilai koefisien k tersebut tentu akan bervariasi, tergantung pada kondisi tutupan lahan, kerapatan jaringan kanal, dan propertis lahan gambut (kematangan). Eksplorasi berbagai nilai k sebagai fungsi parameter-parameter tersebut perlu dilakukan lebih lanjut.

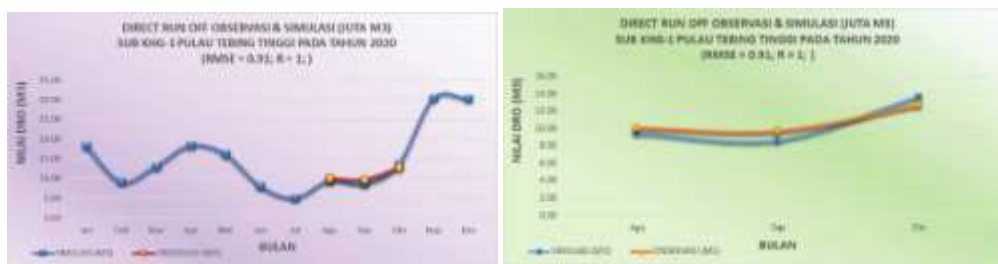
Dengan didapatkannya model hidrologi untuk analisis neraca air yang sudah terkalibrasi, maka simulasi selanjutnya tinggal mengubah-ubah input data sesuai dengan skenario yang diinginkan. Hasil perhitungan beserta grafik-grafiknya akan berubah secara otomatis.

Tabel 5.20 Proses kalibrasi dengan coba ulang nilai k dari 0.1 hingga 1.0

Scenario Summary											
Current Value:	sim1	sim2	sim3	sim4	sim5	sim6	sim7	sim8	sim9	sim10	sim11
Changing Cells:											
Koef. K	1	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9	1
Result Cells:											
RMSE	108.08	9.44	7.78	5.84	3.48	0.91	4.81	12.90	27.64	55.38	108.08
Korelasi	0.92	0.93	0.97	0.99	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	0.98	0.92

Tabel 5.21 Proses kalibrasi dengan coba ulang nilai k dari 0.45 hingga 0.54

Summary											
Sim1	Sim2	sim3	sim4	sim5	sim6	sim7	Sim8	sim9	sim10	sim11	
Cells:											
Koef. K	0.45	0.46	0.47	0.48	0.49	0.5	0.51	0.52	0.53	0.54	
Rs:											
RMSE	2.09	1.80	1.52	1.25	1.03	0.91	0.94	1.12	1.42	1.79	
Korelasi	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	



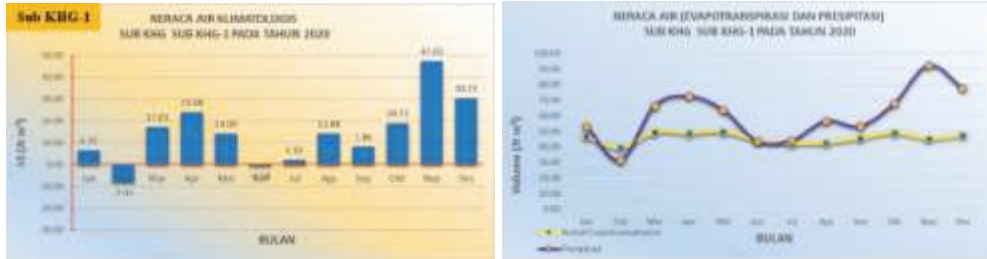
Gambar 5.25 Hubungan antara DRO simulasi dan observasi pada tahap kalibrasi

5.6.4 Kondisi Neraca Air Lahan KHG Pulau Tebing Tinggi

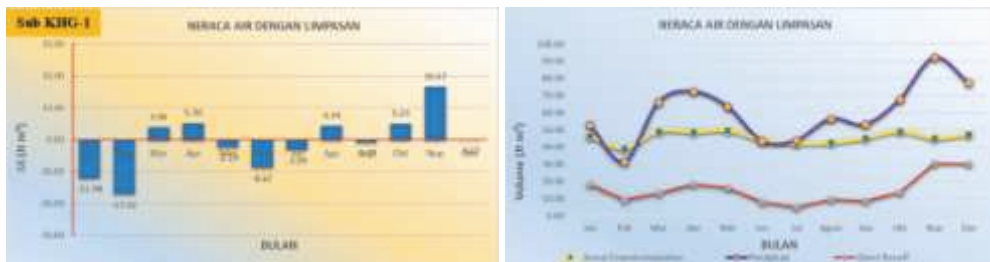
Setelah didapatkan model neraca air yang terkalibrasi, selanjutnya bisa dilakukan simulasi untuk mengetahui kondisi neraca air dengan berbagai kondisi pengelolaan. Pada Gambar 5.26 dan pada Gambar 5.27 ditunjukkan kondisi neraca air klimatologis dan neraca air lahan pada sub KHG-1 hasil analisis dengan menggunakan TMWB model yang sudah terkalibrasi. Neraca air klimatologis (Gambar 5.26) yang hanya mempertimbangkan besaran hujan dan evapotranspirasi menggambarkan tentang kondisi bulan-bulan basah dan bulan-bulan kering. Berdasarkan analisis tersebut, bulan-bulan kering terjadi pada bulan Februari dan Juni, sedangkan pada bulan yang lain mengalami bulan-bulan basah dengan tingkat kebasahan yang bervariasi.

Pada Gambar 5.27 disajikan neraca air lahan yang telah memasukkan komponen debit *outflow* dalam perhitungan neraca air. Debit *outflow* tersebut merupakan hasil simulasi dengan menggunakan model hidrologi yang sudah terkalibrasi dan dengan akurasi tinggi sebagaimana sudah diuraikan pada sub bab sebelumnya. Pada kondisi neraca air ini banyak terjadi bulan-bulan yang mengalami defisit, yaitu Januari, Februari, Mei, Juni, Juli, September dan Desember. Bila dibandingkan antara hasil perhitungan neraca air klimatologis dan neraca air lahan tersebut, ada satu hal yang perlu mendapatkan perhatian khusus, yaitu: pada bulan Januari, Mei, Juli, September dan Desember sebenarnya merupakan bulan-bulan basah menurut perhitungan neraca air klimatologis. Namun pada bulan-bulan tersebut mengalami defisit berdasarkan perhitungan neraca air lahan yang dengan memperhitungkan adanya limpasan langsung. Hal ini berarti bahwa banyaknya kanal-kanal yang ada di Sub-KHG 1 Pulau Tebing Tinggi telah menyebabkan *over drain* sehingga neraca airnya berada pada kondisi defisit meskipun pada bulan-bulan basah.

Hasil analisis perhitungan neraca air untuk Sub-KHG yang lain bisa lakukan dengan sangat mudah sekali hanya dengan mengganti nama sub-KHG pada kolom isian data TMWB model. Hasil-hasil analisis langsung tersajikan dengan otomatis pada *sheet* yang sudah disediakan beserta dengan grafik-grafiknya dengan tampilan seperti pada Gambar 5.27.



Gambar 5.26 Hasil analisis neraca air klimatologis pada Sub-KHG-1 menggunakan TMWB Model



Gambar 5.27 Hasil analisis neraca air lahan pada Sub-KHG-1 menggunakan TMWB Model

5.7 Simulasi Dampak Intervensi Terhadap Neraca Air

Model neraca air yang sudah terkalibrasi kemudian digunakan untuk simulasi dampak intervensi pembangunan infrastruktur pembasahan gambut terhadap kondisi neraca air. Dengan adanya intervensi pembasahan maka akan berpengaruh terhadap pengurangan besarnya limpasan permukaan. Hal ini berarti koefisien *run off* menjadi lebih kecil. Pada sub bab ini akan disajikan dampak intervensi tersebut terhadap pengurangan *run off* dan kondisi neraca airnya.

5.7.1 Analisis dan Perencanaan PIPG

Berdasarkan data spasial pada KHG Pulau Tebing Tinggi didapatkan informasi bahwa pada KHG telah dibuat kanal-kanal drainase yang menyebabkan meningkatnya limpasan dan pengeringan lahan gambut. Untuk itu, perlu dilakukan perencanaan infrastruktur pembasahan gambut (PIPG). Desain

PIPG dilakukan dengan prinsip bahwa penempatan sekat kanal direncanakan pada kanal-kanal yang memotong kontur dengan jarak sedemikian sehingga memiliki perbedaan elevasi tidak lebih dari 0,5 meter. Hasil perencanaan penempatan sekat kanal pada KHG Pulau Tebing Tinggi dengan berpedoman pada prinsip perencanaan tersebut disajikan pada Gambar 5.28. Berdasarkan prinsip tersebut, maka jumlah sekat kanal yang harus dibuat pada KHG Pulau Tebing Tinggi secara total adalah 186 unit, dengan perincian untuk Sub-KHG-1 direncanakan 69 unit, Sub-KHG-2 direncanakan 6 unit, Sub-KHG-3 direncanakan 12 unit, Sub-KHG-4 direncanakan 75 unit, dan Sub-KHG-5 direncanakan 24 unit.



Gambar 5.28 Perencanaan penempatan sekat kanal pada KHG Pulau Tebing Tinggi dengan beda tinggi tidak lebih dari 0,5 m pada kanal-kanal yang memotong kontur.

5.7.2 Analisis dampak Intervensi

Analisis dampak intervensi pembasahan gambut terhadap kondisi neraca air dilakukan dengan memakai asumsi bahwa jika perencanaan sekat kanal tersebut di atas dilaksanakan semua 100% (186 unit), maka jumlah DRO akan tertahan sejumlah 40%, dan jika dilaksanakan berturut-turut 75%, 50%, dan 25% maka DRO yang akan tertahan sejumlah 30%, 20% dan 10% seperti ditunjukkan pada Tabel 5.22. Dengan kondisi tersebut setelah

disimulasikan menggunakan TMWB Model didapatkan nilai koefisien k berturut-turut adalah 0.35, 0.40, 0.44 dan 0.47. Grafik pengurangan DRO akibat dari adanya intervensi pembasahan gambut (penyekatan kanal) disajikan pada Gambar 5.29. Besarnya DRO semakin berkurang karena tertahan dan tersimpan di lahan gambut dengan adanya implementasi perencanaan infrastruktur pembasahan gambut (PIPG) masing-masing 100%, 75%, 50%, dan 25% dari kondisi idealnya.

Tabel 5.22 Asumsi pengurangan DRO akibat dari opsi implementasi PIPG dan estimasi nilai k untuk masing-masing opsi

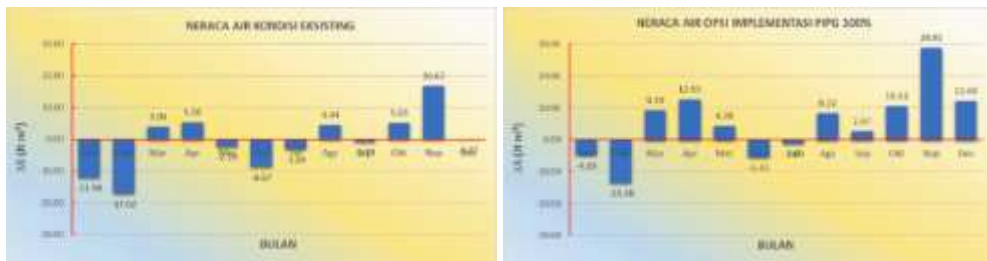
Opsi implementasi PIPG	Jumlah Sekat kanal	Asumsi DRO tertahan	Simulasi Perkiraan Nilai k
100%	186	40%	0.35
75%	140	30%	0.40
50%	93	20%	0.44
25%	47	10%	0.47



Gambar 5.29 Hasil simulasi pengaruh implementasi opsi implementasi PIPG terhadap pengurangan DRO pada KHG Pulau Tebing Tinggi.

Kondisi neraca air sub-KHG-1 Pulau Tebing tinggi dalam kondisi eksisting dan kondisi intervensi 100% disajikan pada Gambar 5.30. Pada kondisi eksisting, secara total tahunan neraca air mengalami defisit sejumlah 8.41 juta M^3 per tahun (Tabel 5.23). Jika dilakukan intervensi 100% maka neraca air

total tahunan menjadi surplus 63,79 juta M3 seperti ditunjukkan pada Gambar 5.30. Defisit air secara bulanan pada kondisi eksisting terjadi selama 7 bulan dalam setahun, dimana hal ini akan menyebabkan muka air tanah mengalami penurunan yang akan menyebabkan risiko kebakaran, subsidensi dan emisi karbonnya tinggi. Dengan implementasi opsi PIPG 100%, defisit air bulanan berkurang menjadi 4 bulan dalam setahun dengan kuantitas defisit yang tidak separah dalam kondisi eksisting. Pada kondisi ini, muka air tanah terjaga dalam kondisi tetap tinggi dan risiko kebakaran, subsidensi dan emisi karbonnya berkurang signifikan.



Gambar 5.30 Kondisi neraca air eksisting (kiri) dan neraca air opsi implementasi 100% PIPG (kanan) pada Sub KHG-1 Pulau Tebing Tinggi

5.7.3 Opsi permanen pembasahan dan pengelolaan berbasis neraca air

Simulasi perhitungan neraca air untuk berbagai opsi implementasi PIPG pada sub KHG yang lain bisa dilakukan dengan cepat menggunakan TMWB Model hanya dengan memodifikasi data input dan parameter nilai koefisien k . Hasil perhitungan neraca air langsung didapatkan beserta dengan grafik-grafik neraca airnya. Pada Tabel 5.23 disajikan pengaruh implementasi opsi PIPG terhadap kondisi neraca air tahunan tiap-tiap sub KHG pada KHG Pulau Tebing Tinggi. Berdasarkan hasil analisis tersebut didapatkan kondisi neraca air existing

tahunan tiap-tiap sub KHG dan juga untuk berbagai opsi implementasi PIPG. Pada kondisi eksisting semua sub KHG secara tahunan mengalami defisit dengan tingkat defisit yang bervariasi. Sub KHG-4 mengalami defisit yang paling besar, diikuti dengan Sub-KHG 1 dan Sub-KHG 2. Pada ketiga Sub KHG tersebut dijumpai banyak jaringan kanal dan jenis gambutnya didominasi jenis hemik yang memiliki karakteristik kurang bagus menahan air dibandingkan dengan jenis sapric. Sedangkan Sub-KHG 5 mengalami defisit yang paling kecil diikuti dengan Sub-KHG 3. Jenis gambut pada Sub-KHG 5 didominasi jenis sapric yang memiliki karakteristik lebih bagus menahan air dibandingkan dengan jenis hemik dan fibrik.

Kondisi neraca air eksisting yang masih defisit secara total tahunan di semua sub-KHG menunjukkan bahwa daya dukung lahan gambut tersebut sudah berkurang kemampuan menyimpannya akibat dari kanalisasi dan alih fungsi lahan. Untuk itu perlu dilakukan intervensi pembasahan dengan penyekatan kanal. Jika dilakukan intervensi pembasahan sebesar 25% dari kondisi ideal (47 titik penyekatan kanal), neraca air masih mengalami defisit pada sub KHG-3 dan sub KHG-4, sedangkan pada sub KHG-1, sub KHG-2 dan sub KHG-5 tidak mengalami defisit (Tabel 5.23). Semua sub KHG tidak mengalami defisit jika opsi implementasi PIPGnya sebesar minimal 50% (93 titik penyekatan kanal). Pada kondisi tersebut secara keseluruhan KHG, neraca air sudah mengalami surplus sebesar 75.48 juta M³. Untuk itu direkomendasikan implementasi pembasahan lahan gambut dengan penyekatan kanal di KHG Pulau Tebing Tinggi minimal sebanyak 93-unit atau 50% dari kondisi ideal.

Tabel 5.23 Pengaruh implementasi opsi PIPG terhadap kondisi neraca air tahunan tiap-tiap sub KHG pada KHG Pulau Tebing Tinggi

Opsi implementasi PIPG	Jumlah Sekat kanal	Asumsi DRO tertahan	Simulasi Perkiraan Nilai R	Defisit/Surplus Tahunan (Jt m ³)					
				SubKHG-1	SubKHG-2	SubKHG-3	SubKHG-4	SubKHG-5	Total
100%	186	40%	0.35	63.79	33.74	5.04	40.42	36.08	181.07
75%	140	30%	0.40	45.74	24.19	3.34	26.69	28.31	128.27
50%	93	20%	0.44	27.69	14.65	1.64	12.96	18.54	75.48
25%	47	10%	0.47	9.64	5.10	-0.07	-0.78	8.78	22.67
Eksisting			0.5	-8.41	-4.45	-1.78	-14.5	-0.98	-30.12

5.8 Skenario neraca air 2021, 2022, 2023, 2024, 2025

Analisis prediksi kondisi neraca air di masa yang akan datang dengan skenario pada tahun 2021, 2022, 2023, 2024 dan 2025 dilakukan dengan menggunakan TMWB model dengan menggunakan data-data input prediksi. Secara umum input untuk tata guna lahan tidak mengalami perubahan yang signifikan selama 5 tahun ke depan. Oleh karena itu kondisi tutupan lahan diasumsikan konstan. Data-data yang kemungkinan mengalami perubahan adalah data hujan dan perubahan jumlah/panjang kanal. Data hujan diprediksi dengan menggunakan metodologi yang diuraikan berikut ini.

Ada beberapa cara yang bisa dipakai untuk memprediksi curah hujan beberapa tahun kedepan, antara lain adalah metode Kalman Filter. Metode ini berkaitan dengan pengembangan model peramalan statistik autoregressive menggunakan teknik umpan balik (*recursive*) dalam mengintegrasikan data pengamatan terbaru ke dalam model untuk memperbaharui (*update*) prediksi sebelumnya dan melanjutkan prediksi ke beberapa tahun ke depan. Metode lainnya yaitu seperti regresi maupun metode *Artificial Intelligence* (AI) atau sering juga disebut dengan Kecerdasan Buatan. Salah satu aplikasi dari AI adalah Jaringan Syaraf Tiruan (JST).

JST juga pernah dilakukan untuk memprediksi curah hujan, seperti yang dilakukan oleh Cici Oktaviani (2013) dimana penelitian ini menggunakan data curah hujan di Stasiun Meteorologi Tabing Padang dari tahun 2001 sampai tahun 2012. Keberhasilan yang dicapai sampai dengan 99,0%. Arsitektur ini digunakan untuk memprediksi curah hujan bulanan selama tahun 2013 dan tahun 2014 dan didapatkan hasil bahwa setiap bulannya adalah musim hujan dengan curah hujan lebih besar daripada 150 mm.

Data Curah hujan yang digunakan untuk prediksi dengan menggunakan AI adalah data curah hujan total rerata yang dimulai tahun 2010 sampai dengan 2019. Data Curah Hujan tersebut menggunakan data satelit TRMM. Proses prediksi hujan dengan menggunakan metode ANN ini memberikan nilai korelasi dari training dan testing berkisar 0.9. Adapun data curah hujan hasil prediksi yang digunakan pada pemodelan skenario prediksi ini dapat dilihat pada Tabel 5.24.

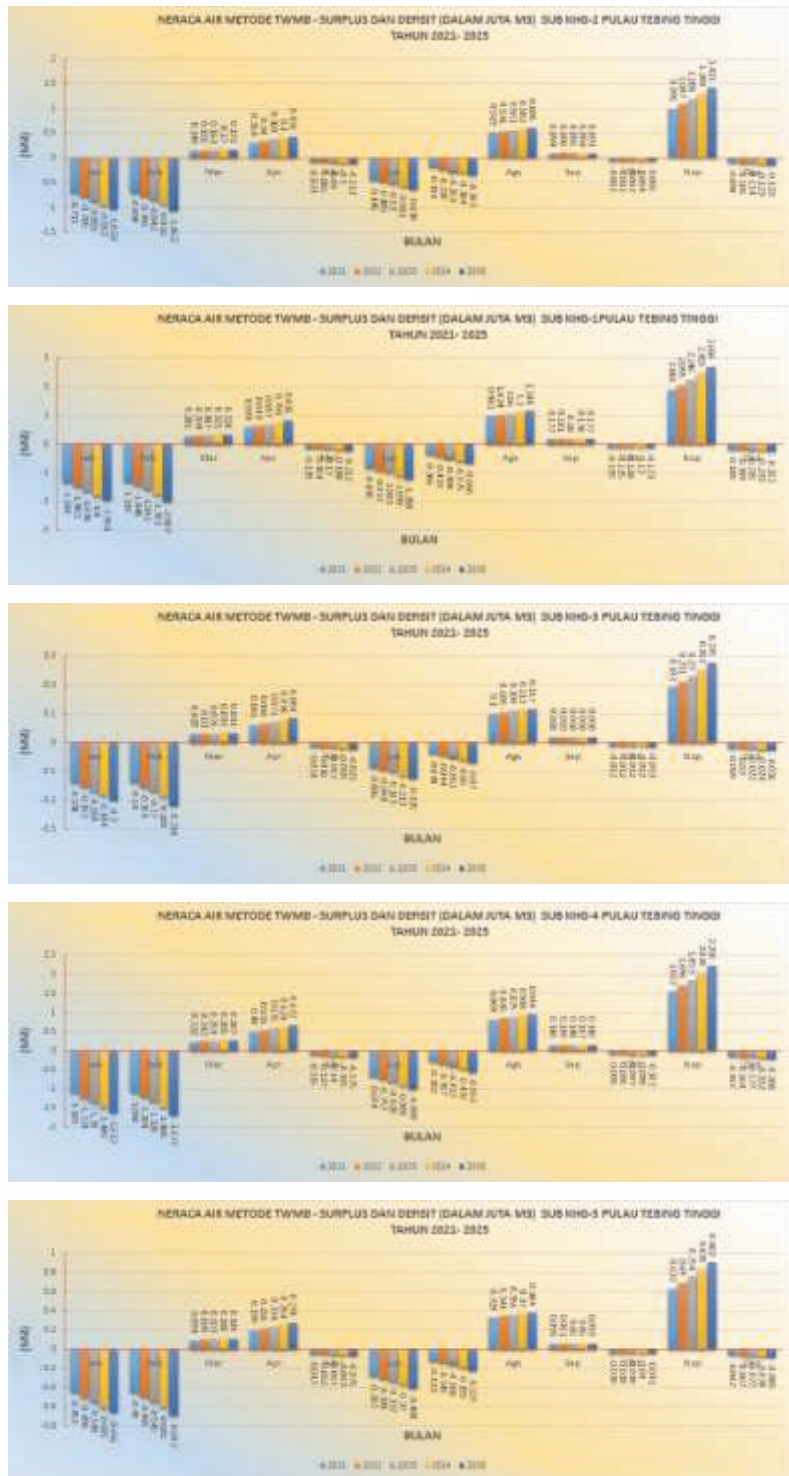
Kondisi neraca air eksisting (jika tanpa dilakukan intervensi) untuk tahun prediksi 2021, 2022, 2023, 2024 dan 2025 tiap-tiap sub KHG Pulau Tebing Tinggi disajikan pada Gambar 5.32. Berdasarkan hasil analisis tersebut didapatkan informasi bahwa, masing-masing sub KHG secara spasial memiliki pola yang sama. Secara temporal, kondisi neraca airnya memiliki kecenderungan defisitnya semakin besar pada bulan-bulan kering, dan surplusnya juga semakin besar pada bulan-bulan basah. Kondisi tersebut menunjukkan bahwa neraca airnya semakin tidak seimbang yang akan menyebabkan lahan gambutnya semakin rentan terhadap bencana.

Tabel 5.24 Data hujan hasil prediksi yang digunakan dengan menggunakan metode Jaringan Syaraf Tiruan

		Data Prediksi											
Prediksi 1	2020	121.27	65.82	151.39	170.37	152.98	103.83	106.36	158.73	150.93	150.16	226.94	182.33
	2021	119.39	58.40	152.53	173.40	154.28	100.22	103.00	160.60	152.02	151.18	235.63	186.57
	2022	117.33	50.24	153.78	176.75	155.71	96.24	99.30	162.66	153.22	152.29	245.19	191.22
Prediksi 2	2023	115.06	41.26	155.16	180.42	157.28	91.86	95.23	164.93	154.54	153.32	255.71	196.35
	2024	112.57	31.39	156.68	184.46	159.01	87.05	90.75	167.42	156.00	154.88	267.29	201.98
	2025	109.83	20.53	158.35	188.91	160.91	81.75	85.82	170.16	157.59	156.36	280.01	208.18

Defisit yang semakin besar akan menyebabkan bencana kekeringan yang makin parah dari tahun ke tahun yang akan menyebabkan semakin rentan terhadap kebakaran lahan. Sementara itu surplus yang semakin besar juga dari tahun ke tahun akan berpotensi menyebabkan bencana banjir. Kondisi ini menunjukkan bahwa, jika dengan tanpa intervensi maka daya dukung KHG semakin berkurang dalam kemampuannya menyimpan air. Untuk itu perlu dilakukan upaya-upaya, antara lain:

- 1) mencegah pembuatan kanal-kanal baru pada lahan gambut yang akan menyebabkan laju *run off* semakin besar,
- 2) melakukan penyekatan kanal pada kanal-kanal yang memotong kontur, yaitu kanal-kanal yang berpotensi meningkatkan laju drainase, untuk mengurangi laju drainase.



Gambar 5.32 Kondisi neraca air eksisting (tanpa intervensi) prediksi tahun 2021, 2022, 2023, 2024 dan 2025 tiap-tiap sub KHG Pulau Tebing Tinggi



PENUTUP

Buku ini menyajikan tentang konsep dasar hidrologi lahan gambut, metode perhitungan dan analisis neraca air di lahan gambut, pembuatan model hidrologi neraca air di lahan gambut serta studi kasus aplikasi model neraca air di lahan gambut. Hal-hal yang disajikan pada buku ini sebagian besar didapatkan dari hasil kegiatan kerja sama riset yang dilakukan dengan BRG-RI selama empat tahun terakhir (2017-2020). Masih banyak yang perlu diperdalam lagi melalui kegiatan riset lanjutan ini, diantaranya adalah: 1) Bagaimana mensimulasikan model neraca air yang telah dihasilkan ini untuk KHG-KHG yang lain, 2) Bagaimana dampak opsi pengelolaan tata air yang lain terhadap kondisi neraca air, 3) Bagaimana dampak kanalisasi dan penutupan kanal terhadap kondisi neraca airnya, 4) Bagaimana memodelkan neraca air pada jenis gambut topogen, dan lain sebagainya.

Kegiatan-kegiatan penelitian ini akan terus berlanjut baik yang akan dilakukan secara mandiri maupun bekerja sama dengan instansi terkait terutama dengan BRG-RI. Diharapkan akan muncul buku-buku berikutnya yang sejenis dan lebih update lagi dalam rangka untuk bisa dijadikan referensi dalam memahami hidrologi di lahan gambut.

DAFTAR PUSTAKA

- Anwar, J., S.J. Damanik, N. Hisyam, A.J. Whitten. 1984. Ekologi Ekosistem Sumatra. Gadjah Mada Univ. Press. Yogyakarta. Hal 245-251
- A. E, E. R (2013) Water Balance Estimates of Evapotranspiration Rates in Areas with Varying Land Use. In: Evapotranspiration - An Overview. pp 1–22
- Alemaw BF, Chaoka TR (2003) A continental scale water balance model: A GIS-approach for Southern Africa. *Phys Chem Earth*.
<https://doi.org/10.1016/j.pce.2003.08.040>
- Alley WM (1984) On the treatment of evapotranspiration, soil moisture accounting, and aquifer recharge in monthly water balance models. *Water Resour Res* 20:1137–1149
- Arnell NW (1992) Factors controlling the effects of climate change on river flow regimes in a humid temperate environment. *J Hydrol*.
[https://doi.org/10.1016/0022-1694\(92\)90184-W](https://doi.org/10.1016/0022-1694(92)90184-W)
- Ballard CE, McIntyre N, Wheeler HS, et al (2011) Hydrological modelling of drained blanket peatland. *J Hydrol* 407 : 81 – 93 .
<https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2011.07.005>
- Blackham G V., Webb EL, Corlett RT (2014) Natural regeneration in a degraded tropical peatland, Central Kalimantan, Indonesia: Implications for forest restoration. *For Ecol Manage*. <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2014.03.041>
- Bonn A, Allott T, Evans M, et al (2016) Peatland restoration and ecosystem services: Nature-based solutions for

societal goals. *Peatland Restoration Ecosystem Services Science Policy Pract* 402–417.
<https://doi.org/10.1017/CBO9781139177788.021>

- Dohong A (2017) Bolstering Peatlands Restoration in Indonesia through 3Rs Approach. In: *Developing International Collaborations to Address Fire and Other Conservation Issues in Central Kalimantan, Indonesia*
- Dohong A, Cassiophea L, Sutikno S, et al (2017) Modul pelatihan Pembangunan Infrastruktur Pembasahan Gambut Sekat Kanal Berbasis Masyarakat. Kedepujian Bidang Konstruksi, Operasi dan Pemeliharaan Badan Restorasi Gambut (BRG), Republik Indonesia, Jakarta
- Fadhli RA, Sujatmoko B, Sutikno S (2016) Perbandingan Penggunaan Data Hujan Lapangan dan Data Hujan Satelit Untuk Analisis Hujan-Aliran Menggunakan Model Ihacres. *Proc. ACES* (Annual Civ. Eng. Semin. 1:213–220
- Fish RE (2011) Using Water Balance Models To Approximate the Effects of Climate Change on Spring Catchment Discharge: Mt. Hanang, Tanzania
- García AA, López EG, Mendoza ME (2011) Three approaches to the assessment of spatio-temporal distribution of the water balance: the case of the Cuitzeo basin, Tres aproximaciones para estimación y distribución espacio-temporal del balance hídrico: el caso de la cuenca de Cuitzeo, Michoacán. *Investig Geográficas, Boletín del Inst Geogr UNAM* 34–55
- Giesen W, Nirmala E (2018) *Tropical Peatland Restoration Report: the Indonesian case*
- Hewlett JD (1982) *Principles of forest hydrology*. University of

Georgia press

Holden J, Evans MG, Burt TP, Horton M (2006) Impact of Land Drainage on Peatland Hydrology. *J Environ Qual*. <https://doi.org/10.2134/jeq2005.0477>

Holden J, Wallage ZE, Lane SN, McDonald AT (2011) Water table dynamics in undisturbed, drained and restored blanket peat. *J Hydrol*.

<https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2011.03.010>

Jaenicke J, Wösten H, Budiman A, Siegert F (2010) Planning hydrological restoration of peatlands in Indonesia to mitigate carbon dioxide emissions. *Mitig Adapt Strateg Glob Chang* 15:223–239.

<https://doi.org/10.1007/s11027-010-9214-5>

Jiang T, Chen YD, Xu C yu, et al (2007) Comparison of hydrological impacts of climate change simulated by six hydrological models in the Dongjiang Basin, South China. *J Hydrol*.

<https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2007.01.010>

Khotimah GK, Sutikno S, Yusa M, Wijatmiko I (2020) Analisis Pengaruh Penyekatan Kanal Untuk Pembahasan Lahan Gambut Tropis. *Rekayasa Sipil*; Vol 14, No 2

Koh LP, Miettinen J, Liew SC, Ghazoul J (2011) Remotely sensed evidence of tropical peatland conversion to oil palm. *Proc Natl Acad Sci U S A* 108:5127–32. <https://doi.org/10.1073/pnas.1018776108>

Labadz J, Allott T, Evans M, et al (2010) Draft Review Peatland Hydrology. *Rev Lit Arts Am* 52. [https://doi.org/10.1016/S0928-2025\(06\)09014-6](https://doi.org/10.1016/S0928-2025(06)09014-6)

Moffitt CB, Hossain F, Adler RF, et al (2011) Validation of a

- TRMM-based global flood detection system in Bangladesh. *Int J Appl Earth Obs Geoinf* 13:165–177. <https://doi.org/10.1016/j.jag.2010.11.003>
- Murdiyarso D, Hergoualc'h K, Verchot L V. (2010) Opportunities for reducing greenhouse gas emissions in tropical peatlands. *Proc Natl Acad Sci* 107:19655–19660. <https://doi.org/10.1073/pnas.0911966107>
- Myronidis D, Emmanouloudis D (2008) A water balance model of the Natura 2000 protected area “Nestos delta.” *J Eng Sci Technol Rev* 1:45–48. <https://doi.org/10.25103/jestr.011.10>
- Nugroho AR, Tamagawa I, Riandraswari A, Febrianti T (2019) Thornthwaite-Mather water balance analysis in Tambakbayan watershed, Yogyakarta, Indonesia. *MATEC Web Conf* 280:05007. <https://doi.org/10.1051/matecconf/201928005007>
- Page SE, Rieley JO, Banks CJ (2011) Global and regional importance of the tropical peatlands carbon pool. *Glob Chang Biol* 17:798–818. <https://doi.org/10.13140/RG.2.1.3702.8566>
- Prabandini G (2016) Pengukuran Konduktivitas Hidrolik Gambut Dengan Menggunakan Metode Slug Test (Studi Kasus: Katingan, Kalimantan Tengah)
- Pratama H, Sutikno S, Yusa M (2020) Modeling of groundwater level fluctuation in the tropical peatland area of Riau , Indonesia. *IOP Conf Ser Mater Sci Eng* 796:1–8. <https://doi.org/10.1088/1757-899X/796/1/012037>
- Pratiwi DW, Sujono J, Rahardjo AP (2017) Evaluasi Data Hujan Satelit Untuk Prediksi Data Hujan Pengamatan Menggunakan Cross

- CORRELATION. In: Seminar Nasional Sains dan Teknologi 2017. pp 1–2
- Rahman MM, McDermid GJ, Strack M, Lovitt J (2017) A New Method to Map Groundwater Table in Peatlands Using Unmanned Aerial Vehicles. *Remote Sens* 9:1057. <https://doi.org/10.3390/rs9101057>
- Ritzema H, Limin S, Kusin K, et al (2014) Canal blocking strategies for hydrological restoration of degraded tropical peatlands in Central Kalimantan, Indonesia
- Silviana SH, Saharjo BH, Sutikno S (2020) Fire risk analysis based on groundwater level in rewetting peatland , Sungaitohor village , kepulauan Meranti district , Riau province Fire risk analysis based on groundwater level in rewetting peatland , Sungaitohor village , kepulauan Meranti district ,. *IOP Conf Ser Mater Sci Eng* 796:1–8. <https://doi.org/10.1088/1757-899X/796/1/012041>
- Simil M, Aapala K, Penttinen J Ecological restoration in drained peatlands. *Metsähallitus – Natural Heritage Services, Helsinki*
- Sulaiman A, Kimura K, Takano K (2017) Building An Integrated Peatland Monitoring Trough Modeling and Mapping Water Table. In: 1st International Round Table Peatland Restoration
- Suryatmojo H, Fujimoto M, Yamakawa Y, et al (2013) Water balance changes in the tropical rainforest with intensive forest management system. *Int J Sustain Futur Hum Secur* 1:56–62. <https://doi.org/10.24910/jsustain/1.2/5662>
- Sutikno S, Handayani YL, Fauzi M, Kurnia A (2017a) Hydrologic modelling using TRMM-based rainfall products for flood analysis. *MATEC Web Conf* 05015:2–6

- Sutikno S, Lilis Handayani Y, Fauzi M, et al (2017b) Hydrologic modelling using TRMM-based rainfall products for flood analysis. In: MATEC Web of Conferences
- Sutikno S, Ramawilis RD, Hutapea FA, Yamamoto K (2020) Application of paper disc velocimeter for groundwater flow measurement in tropical peatland Application of paper disc velocimeter for groundwater flow measurement in tropical peatland. IOP Conf Ser Mater Sci Eng 796:1–8. <https://doi.org/10.1088/1757-899X/796/1/012042>
- Bowman KP. 2005. Comparison of TRMM Precipitation Retrievals with Rain Gauge Data from Ocean Buoys. *Journal of Climate*. 18(1), 178–190.
- De Paiva, RC. Buarque C. Collischonn W. Bonnet M. Frappart F. Calmant S. Mendes B. 2013. Large-scale hydrologic and hydrodynamic modeling of the Amazon River basin. *Water Resource. Res*:49, 1226–1243.
- Funk C, Peterson P, Landsfeld M, Pedreros D, Verdin J, Shukla S, Husak G, Rowland J, Harrison L, Hoell A, Michaelsen J. 2015b. Climate Hazards Group
- Mamenun, Pawitan A. Sophaheluwakan, A. 2014. Validasi dan Koreksi Data Satelit TRMM Pada Tiga Pola Hujan Di Indonesia. *Jurnal Meteorologi dan Geofisika*. 15: 13-23.
- NASDA. 2001. TRMM Data Users Handbook. Earth Observation Center, National Space Development Agency of Japan
- Peraturan Menteri Kehutanan Nomor P.12/Menhut-II/2009. tanggal 23 Februari 2009 tentang Pengendalian Kebakaran Hutan. Jakarta.
- Prasasti I, Boer R, Ardiyansyah M, Buono A, Syaufina L, Vetrira Y.

2012. Analisis hubungan kode-kode SPBK (Sistem Peringkat Bahaya Kebakaran) dan hotspot dengan kebakaran hutan dan lahan di Kalimantan Tengah. *Jurnal Pengelolaan Sumberdaya Alam dan lingkungan*. 2(2): 91–101.

Wilby RL. Yu D. 2013. Rainfall and temperature estimation for a data sparse region. *Hydrol. Earth Syst. Sci.*, 17, 3937–3955