



Royal Netherlands
Meteorological Institute
Ministry of Infrastructure and the
Environment



JOINT COOPERATION PROGRAMME

Component C3:

Lowland / Peatland subsidence – Future drainability

Document C3.4

Report and annex fourth workshop on *Peatland subsidence and flooding modelling*

Banjarmasin

8-11 October 2012

Project: 1201430.000

Client: Water Mondiaal
Partners for Water
Royal Netherlands Embassy in Jakarta

Period: January 2011 – March 2013



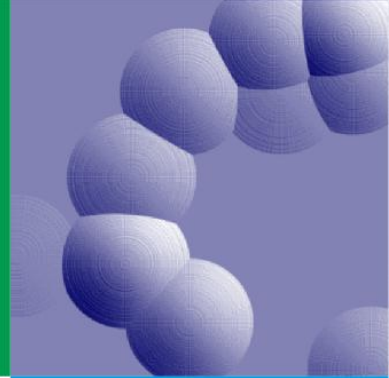
Royal Netherlands
Meteorological Institute
*Ministry of Infrastructure and the
Environment*



Table of Contents

1. Workshop report by Pusair	3
2. Workshop report annex 2	36

SIMPANAN DAN EMISI KARBON LAHAN GAMBUT DI KALIMANTAN TENGAH – INDONESIA (Dengan dan Tanpa Intervensi Hidrologi)



DAFTAR ISI

DAFTAR ISI.....	1
RINGKASAN	2
1 PENDAHULUAN	4
1.1 Umum	4
1.2 <i>WACLIMAD PROJECT</i>	4
1.3 <i>QANS PROJECT</i>	5
1.4 Penelitian Balai Rawa Puslitbang SDA.....	6
1.5 <i>Cooperation Programme and Workshops</i>	7
2 KONSEP UTAMA	10
2.1 Gambut dan <i>Subsidence</i>	10
2.2 Gambut dan Karbon	13
2.2.1 Volume gambut	13
2.2.2 <i>Bulk density</i>	13
2.2.3 <i>Kandungan karbon</i>	13
2.3 Hidrologi dan Pengelolaan Air	14
2.3.1 <i>Batas drainase (drainage limit)</i>	14
2.4 Penurunan Muka Tanah Lahan Gambut (<i>Subsidence</i>).....	15
2.4.1 <i>Hubungan</i> antara tinggi muka air rata-rata dengan penurunan permukaan tanah	15
3 METODOLOGI (lihat juga Annex 2).....	15
3.1 Gambut dan Karbon	15
3.1.1 <i>Perhitungan volume gambut</i>	15
3.1.2 <i>Simpanan karbon</i>	18
3.1.3 <i>Emisi karbon</i>	19
3.1.4 <i>Penurunan gambut dan laju emisi karbon</i>	20
3.2 Batas Hidrologi	21
3.3 Intervensi Hidrologi	21
4 HASIL STUDI.....	23
5 KESIMPULAN.....	30
6 REFERENSI	31
7 ANNEX.....	32
7.1 Annex 1	32
7.2 Annex 2 (Lihat File Annex 2)	32

SIMPANAN DAN EMISI KARBON LAHAN GAMBUT DI KALIMANTAN TENGAH – INDONESIA (Dengan dan Tanpa Intervensi Hidrologi)

L. Budi Triadi
Yosiandi R. Wicaksono
Surya Dharma
Muhammad Gifariyono

RINGKASAN

Balai Rawa, Pusat Penelitian dan Pengembangan Sumber Daya Air mengembangkan suatu penelitian yang bertujuan mengembangkan teknologi sistem tata air yang mampu menekan emisi karbon yang dihasilkan oleh daerah rawa dalam mengurangi emisi gas rumah kaca yang mengakibatkan terjadinya perubahan iklim global.

Terkait dengan hal tersebut, dibuat suatu program kerja sama 4 (empat) institusi, yaitu: KNMI, BMKG, Puslitbang SDA dan Deltares yang bernama *Joint Cooperation Programme* (JCP) yang bertujuan untuk saling berbagi pengetahuan dan meningkatkan kapasitas SDM. Dan dalam kaitannya dengan pengelolaan rawa yang berkelanjutan, program ini berada di bawah komponen C3, yaitu *Assessing Lowland/Peatland Subsidence and Future Drainability*.

Dalam rangka peningkatan pengetahuan di bidang emisi karbon pada lahan gambut maka pada tanggal 9–13 Juli 2012 telah diselenggarakan Kegiatan *Workshop Peatland Carbon Emission and Subsidence Modelling* di Direktorat Bina Pengelolaan Sumber Daya Air Kementerian Pekerjaan Umum. *Workshop* ini dihadiri oleh perwakilan dari Direktorat Bina Pengelolaan Sumber Daya Air, Direktorat Bina OP, Universitas Gajah Mada dan Balai Rawa Puslitbang Sumber Daya Air. *Workshop* berikutnya dengan tujuan lebih memperdalam materi diselenggarakan pada tanggal 8–11 Oktober 2012 di Balai Rawa, Banjarmasin yang dihadiri oleh peneliti dan staf Balai Rawa puslitbang Sumber Daya Air.

Workshop ini menggunakan data dari Sei Ahas yang terletak di Blok A, lahan gambut ex PLG di desa Sei Ahas, Kalimantan Tengah dengan luas ± 50 hektar.

Dari *workshop* ini dapat ditarik beberapa kesimpulan, antara lain faktor ketinggian muka air tanah sangat penting baik dalam rangka mencegah penurunan muka lahan gambut maupun mengurangi besaran emisi karbon pada lahan gambut. Semakin dalam penurunan muka air tanah maka semakin lama pula waktu penurunan tanah gambut dan semakin tinggi pula besaran emisi karbon. Angka berikut di bawah ini memberikan penjelasan lebih lanjut dari uraian di atas.

URAIAN	KETEBALAN GAMBUT RERATA (cm)	WAKTU PENURUNAN GAMBUT (tahun)
Muka Air Musim Kemarau	166.8	67
Muka Air Banjir	144.7	58

Sementara itu dapat dilihat pula bahwa emisi karbon yang terjadi akan semakin besar dengan semakin rendahnya muka air tanah.

URAIAN	MATERIAL GAMBUT KERING (Mton)	Volume Karbon Gambut (Mton)		EMISI KARBON (Mton)	
		CARBON CONTENT SHALLOW PEAT (50%)	CARBON CONTENT SHALLOW PEAT (55%)	CARBON CONTENT SHALLOW PEAT (50%)	CARBON CONTENT SHALLOW PEAT (55%)
Muka Air Sungai Musim Kemarau	2.481	1.240	1,365	4.548	5,003
Muka Air Banjir Sungai	2.157	1.079	1,186	3.955	4,350

Selanjutnya dapat dibuktikan bahwa besaran *subsidence rate* (perkebunan Akasia) dengan membangun bendung dan penghutanan kembali, jauh lebih kecil dari pada tanpa perlakuan apapun. Demikian pula yang terjadi dengan besarnya laju emisi karbon, antara laju emisi karbon dan laju subsidensi mempunyai perilaku yang sama seperti yang telah dijelaskan di atas. Mengingat bahwa sampai saat ini rekaman nilai *subsidence* di lapangan masih sangat pendek, maka pengaruh *subsidence* terhadap emisi karbon dilakukan dengan menggunakan hubungan antara muka air dan *subsidence* dari publikasi (Hooijer et al., 2012a). Kenaikan muka air akibat dibangunnya bendung masih merupakan nilai asumsi.

Sebagai ilustrasi dapat diuraikan sebagai berikut: dengan asumsi, muka air tanah rata-rata 0,4 m (kondisi eksisting) dibawah permukaan untuk perkebunan Akasia, diperoleh besaran emisi karbon tahunan sebesar 0.095 Mton/tahun. Selanjutnya bila dibangun bendung tanpa penghutanan kembali dan dianggap muka air tanah naik 50% (0,2 m dibawah permukaan, untuk perkebunan Akasia, diperoleh besaran emisi karbon tahunan sebesar 0.068 Mton/tahun).

1 PENDAHULUAN

1.1 Umum

Lahan gambut memiliki potensi yang sangat besar dalam peningkatan emisi karbon atau yang disebut juga emisi gas rumah kaca yang saat ini menjadi isu utama dalam kaitannya dengan isu pemanasan global dan perubahan iklim. Lebih dari setengah dari kandungan gambut tropis dunia terdapat di Asia Tenggara khususnya di Indonesia dan Malaysia (Page et al., 2011). Sementara untuk wilayah Indonesia pada tahun 2010 Kementerian Lingkungan Hidup bekerja sama dengan IPB telah menyusun Peta Sebaran Kesatuan Hidrologis Gambut berdasarkan informasi yang diperoleh dari berbagai instansi dan interpretasi citra satelit (2007) dimana total sebaran kesatuan hidrologis gambut di Indonesia adalah seluas 32.6 Mha yang tersebar di Sumatera, Kalimantan, Sulawesi, Papua dan Jawa (Kementerian Lingkungan Hidup, 2010).

Pencanangan target penurunan emisi sebesar 26 persen (41 persen dengan dukungan internasional) pada tahun 2020 sebagaimana hasil *Conference of the Parties* (COP 15) di Kopenhagen bulan Desember 2009 lalu merupakan target kebijakan nasional. Di sinilah peran lahan rawa pasang surut yang mencakup lebih dari 80 persen kawasan gambut di Indonesia menjadi suatu hal yang penting.

Gambut yang menjadi idola, karena fungsinya sebagai penyelamat karena mengikat karbon sekaligus sumber CO₂ (gas rumah kaca), ternyata berada di wilayah lahan rawa pasang surut. Keistimewaan lahan rawa pasang surut juga tampak pada kompleksitas masalahnya yang lebih rumit daripada lahan rawa lain. Di satu sisi, proses pembangunan nasional mendorong permintaan konversi lahan pasang surut; pada sisi lain, dunia internasional pun menuntut Indonesia untuk mempertahankan ekosistem lahan rawa pasang surutnya.

Pelajaran berharga dari pengalaman-pengalaman pengelolaan lahan rawa dan gambut sebelumnya, menunjukkan bahwa kita menghadapi kekurangan-selarasan kebijakan-kebijakan antar sektor dan antar daerah dalam pengelolaan rawa. Oleh karena itu maka pemahaman akan pentingnya pendekatan yang terintegrasi, menyeluruh, dan multisektor dalam perencanaan nasional tentang tata kelola lahan rawa pasang surut berkelanjutan dirasakan sudah semakin mendesak.

1.2 WACLIMAD PROJECT

Dalam kerangka perencanaan nasional, perhatian dan kesungguhan pemerintah dalam pengelolaan lahan rawa yang berkelanjutan, telah diwujudkan dengan pembentukan Tim Koordinasi yang dibentuk melalui Keputusan Menteri Perencanaan Pembangunan Nasional/Kepala Bappenas No.Kep.40/M.PPN/HK/07/2009 yang beranggotakan pejabat Eselon-1 Kementerian dan Lembaga Pemerintah yang terkait dengan pengelolaan lahan rawa pasang surut, yang meliputi Kementerian-kementerian Pekerjaan Umum, Lingkungan Hidup, Kehutanan, Pertanian, Kelautan dan Perikanan, Dalam Negeri, Tenaga Kerja dan Transmigrasi, dan Bappenas serta LIPI, BMKG, LAPAN, dan Bakosurtanal. Tim Koordinasi ini juga telah dilengkapi dengan Sekretariat yang beranggotakan para Eselon-2 dan Kelompok Kerja (Pokja)

beranggotakan para Eselon 3 Kementerian/Lembaga terkait. Tim koordinasi ini bertugas mengembangkan dialog kebijakan multi- sektor, baik di pusat maupun daerah untuk membangun kesepahaman dan kesepakatan yang nantinya diharapkan menjadi dasar bagi penyusunan perencanaan nasional pengelolaan lahan rawa berkelanjutan.

Penyusunan Perencanaan Nasional Pengelolaan Lahan Rawa Berkelanjutan”, yang diselenggarakan atas kerjasama Pemerintah Indonesia dengan pemerintah Kerajaan Belanda dan *World Bank* melalui kegiatan *Water Management for Climate Change Mitigation and Adaptive Development (WACLIMAD) in Lowlands*.

Serangkaian dialog kebijakan antar sektor telah menghasilkan berbagai kesepahaman dan kesepakatan, terutama digunakannya konsep **kesatuan hidrologis** dalam **delineasi dataran rendah**. Selain telah mengembangkan **alur pikir zonasi makro** dan **mezo** yang digunakan dalam delineasi, juga telah dikembangkan **alternatif arah kebijakan pengelolaan kawasan pengelolaan adaptif**. Hasil yang diperoleh ini dapat dijadikan acuan dalam menyusun kebijakan implementasi di masing-masing sektor baik di pusat maupun di daerah termasuk sebagai masukan untuk penyusunan/revisi RTRW dan bagi peraturan perundangan yang sedang disiapkan.

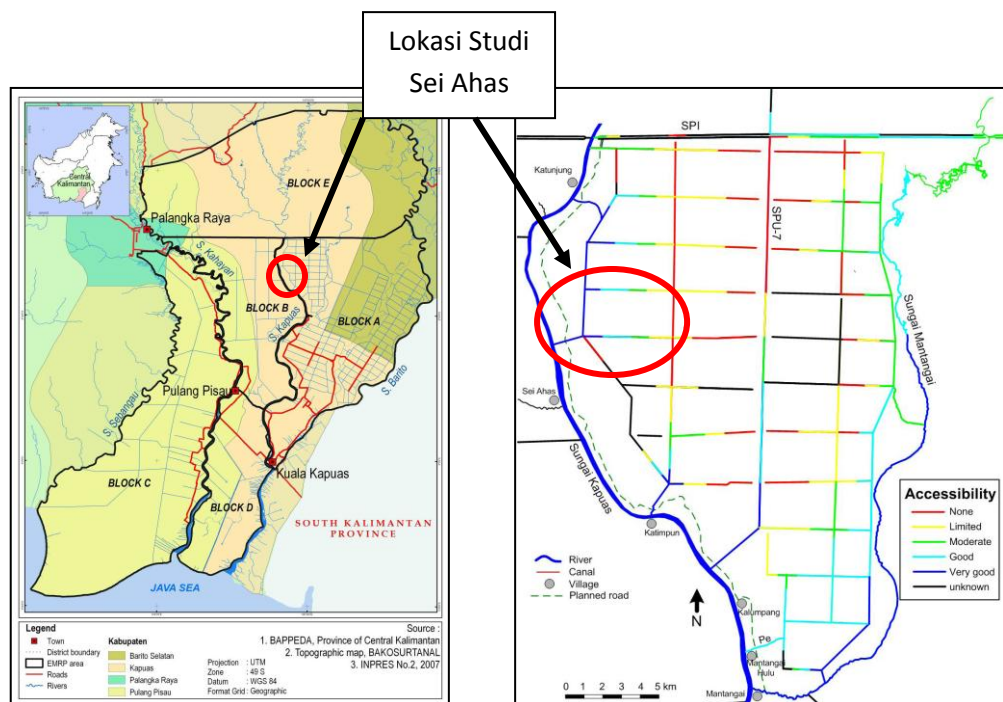
1.3 **QANS PROJECT**

Selanjutnya bertolak dari rencana perluasan geografis dari WACLIMAD yang kemudian berfokus pada dialog regional, baru-baru ini lebih dipusatkan kembali berdasar atas diskusi antara PfW, Kedutaan Belanda, dan Pemerintah Indonesia (Kementerian Pekerjaan Umum dan BAPPENAS) dalam bentuk *Quick Assessment and Nationwide Screening of Peat and Lowland Resources and Action Planning for the Implementation of a National Lowland Strategy (QANS)*. QANS adalah kegiatan yang didanai oleh *The Netherlands Partners for Water (PfW) Programme* dari 1 March 2012 until 28 February 2013 dan dilaksanakan oleh konsorsium yang dipimpin oleh Euroconsult Mott MacDonald, bersama dengan Deltares, DHV, WUR and PT. INDEC.

QANS akan berfokus pada beberapa kegiatan terutama di propinsi Riau, Sumatra dan Kalimantan Barat bersama dengan berbagai kegiatan generik yang bertujuan untuk mendukung pengembangan lahan rawa Indonesia yang berkelanjutan, dan melanjutkan dukungan pada dialog nasional dan regional. Secara khusus, di samping berfokus pada pendekatan pengembangan yang berkelanjutan, kegiatan ini juga berfokus pada lahan gambut, dimana isu ini penting untuk jangka pendek dan menengah. Bila WACLIMAD berpusat pada zonasi makro, maka QANS akan lebih rinci pada zonasi yang lebih kecil (zonasi mezo), mengidentifikasi areal yang paling sesuai untuk pengembangan, rehabilitasi, dan konservasi, atau kombinasinya.

1.4 Penelitian Balai Rawa Puslitbang SDA

Balai Rawa sebagai bagian dari Pusat Penelitian dan Pengembangan Sumber Daya Air memiliki suatu kegiatan penelitian yang bertujuan untuk mengembangkan suatu teknologi sistem tata air yang mampu menekan emisi karbon yang dihasilkan oleh daerah rawa dalam mengurangi emisi gas rumah kaca yang mengakibatkan terjadinya perubahan iklim global. Kegiatan penelitian ini berlokasi di Blok A, lahan gambut ex PLG di Desa Sei Ahas, Kalimantan Tengah seluas ± 50 hektar dan telah dimulai pada tahun 2011 dan akan berakhir di tahun 2014, untuk memperoleh gambaran yang lebih jelas, lihat **Gambar 1**. Teknologi sistem tata air yang dikembangkan akan menggunakan intervensi hidrologi dalam bentuk bendung yang dikombinasikan dengan jalur perahu untuk memberikan fasilitas jalur navigasi.



Gambar 1 Lokasi studi Sei Ahas (Sumber: KFCP, 2009)

Pengelolaan air Sei Ahas dimaksudkan untuk:

- Memulihkan lahan gambut yang terdegradasi supaya perlahan-lahan kembali menjadi hutan alami/lahan pertanian;
- Menyediakan air untuk masyarakat;
- Mengurangi kebakaran;
- Mencegah subsidensi lahan;
- Mengurangi banjir di musim hujan.

Pengelolaan air ini dilakukan dengan membuat bendung tetap untuk mempertahankan air tidak keluar dari lahan gambut dan sekaligus meninggikan muka air di saluran dan lahan.

1.5 **Cooperation Programme and Workshops**

Terkait dengan penelitian-penelitian yang dilakukan oleh Balai Rawa tersebut, Balai Rawa sangat membutuhkan tenaga-tenaga peneliti yang berpengalaman dan handal, maka sangat dibutuhkan transfer ilmu dan kebutuhan akan pengetahuan yang *up to date* serta jitu untuk mengatasi masalah-masalah di atas. Sehubungan dengan itu maka dibuat suatu program kerja sama yang bernama *Joint Cooperation Programme* (JCP) yang bertujuan untuk saling berbagi pengetahuan dan pembangunan kapasitas jangka panjang antara 4 (empat) institusi, yaitu: KNMI, BMKG, Puslitbang SDA dan Deltares. Sasaran utama dari program ini adalah meningkatkan pengetahuan dari semua institusi yang terlibat termasuk Balai Rawa dan untuk meningkatkan kapasitas institusi dalam perencanaan, pengembangan dan pengelolaan sistem sumber daya air. Dalam kaitannya dengan pengelolaan rawa yang berkelanjutan, program ini berada di bawah komponen C3, yaitu *assessing lowland/peatland subsidence and future drainability*.

Dan dalam rangka peningkatan pengetahuan di bidang emisi karbon pada lahan gambut maka pada tanggal 9–13 Juli 2012 telah diselenggarakan Kegiatan *Workshop Peatland Carbon Emission and Subsidence Modelling* di Direktorat Bina Pengelolaan Sumber Daya Air Kementerian Pekerjaan Umum. *Workshop* ini dihadiri oleh perwakilan dari Direktorat Bina Pengelolaan Sumber Daya Air, Direktorat Bina OP, Universitas Gajah Mada dan Balai Rawa Puslitbang Sumber Daya Air. Bertindak sebagai instruktur dalam kegiatan ini adalah Dr. Aljosja Hooijer dan Ronald Vernimmen, yang keduanya berasal dari Deltares.

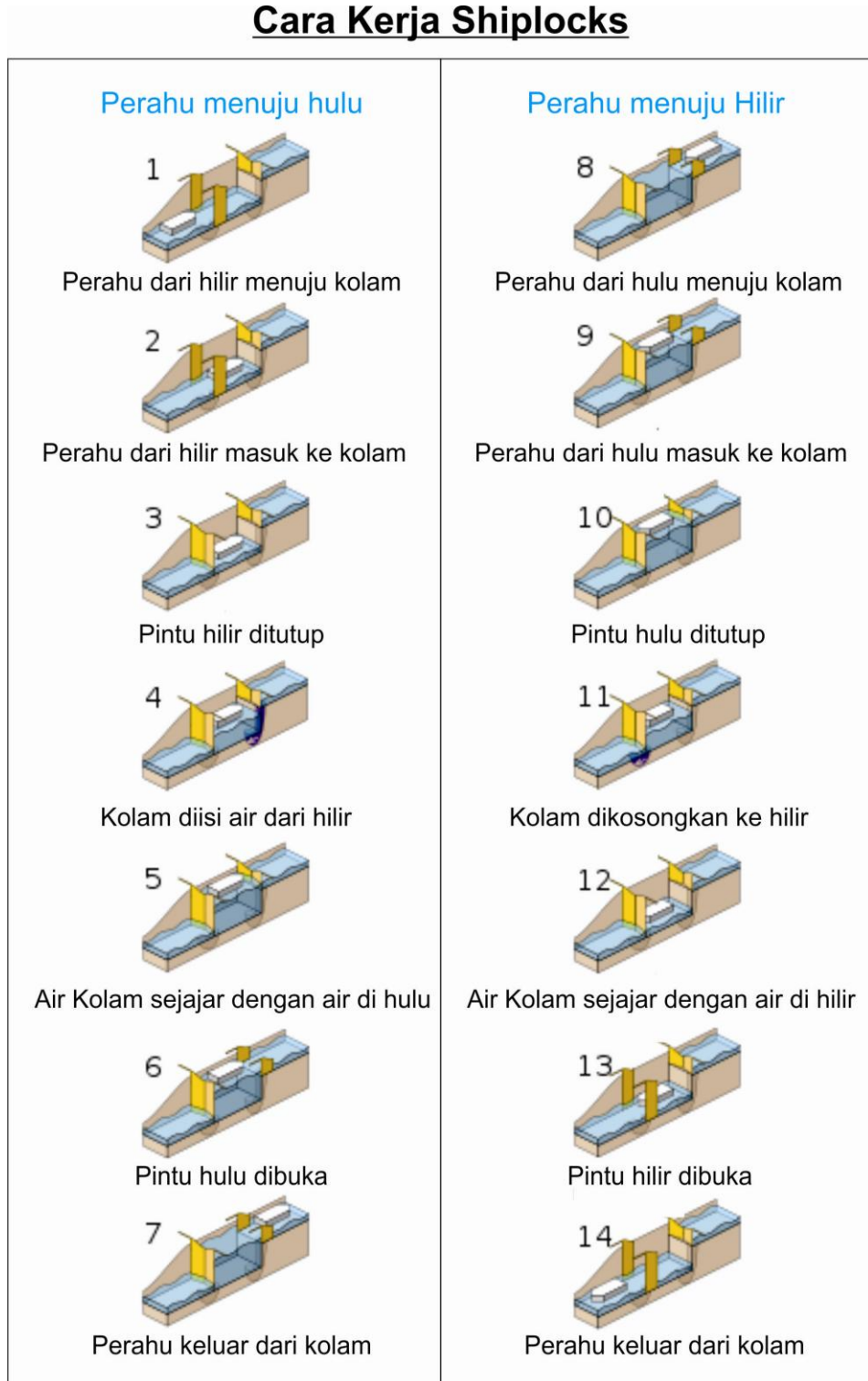
Selanjutnya untuk memperdalam materi dari *workshop* I diselenggarakan *workshop* II pada tanggal 8–11 Oktober 2012 di Balai Rawa Banjarmasin. *workshop* II ini dihadiri oleh peneliti dan staf Balai Rawa dengan pengajar adalah Marnix Van der Vat dari Deltares, dimana hasil dari kedua *workshop* tersebut di atas dilaporkan pada laporan ini.

Lokasi bendung disajikan pada **Gambar 2**.



Gambar 2 Lokasi bendung

Untuk tidak mengganggu manfaat saluran sebagai alur navigasi yang dibutuhkan oleh masyarakat setempat, maka diperlukan bangunan alur perahu (*shiplocks*) yang dibangun menyatu dengan bendung tersebut. Adapun cara kerja bangunan alur perahu tersebut dapat dilihat pada **Gambar 3**.



Gambar 3 Cara kerja bangunan alur perahu

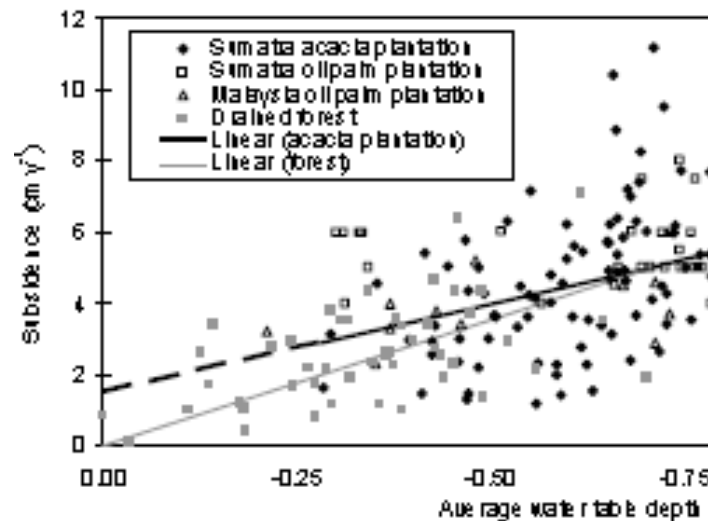
2 KONSEP UTAMA

2.1 Gambut dan *Subsidence*

Lahan gambut sejatinya adalah penyimpan cadangan karbon dan karbon tidak akan hilang pada kondisi alaminya. Ketika lahan gambut didrainase untuk berbagai kepentingan, seperti pembukaan lahan untuk pertanian dan perkebunan atau untuk diambil kayunya, maka lahan gambut akan mengalami penurunan (*subsidence*).

Lebih dari setengah (24,8 juta ha) dari luas global lahan gambut tropis berada di Asia Tenggara (56%), sebagian besar berada di Indonesia dan Malaysia. Dengan asumsi ketebalan gambut (rata-rata > 5 m) pada di kedua negara ini, maka keduanya memiliki 77% dari seluruh simpanan karbon gambut (Page et al., 2011).

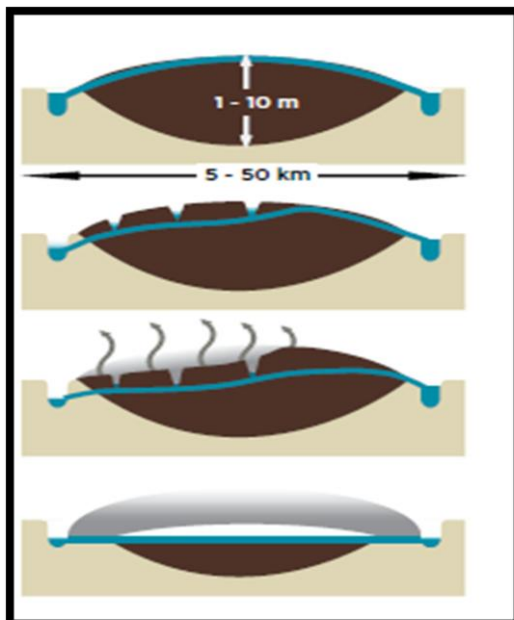
Simpanan karbon pada lahan gambut akan stabil bila lahan gambut tidak dikeringkan melalui proses drainase, dalam hal ini pengendalian muka air tanah gambut adalah kunci utama agar karbon tidak terlepas ke udara melalui proses oksidasi. Menurut penelitian Hooijer et al. (2012), pada kedalaman muka air 0,7 m, "perkebunan Akasia" dan "hutan alami" mempunyai tingkat subsidensi yang sama (**Gambar 4**) dan garis linier "perkebunan Akasia" dapat digunakan untuk hutan gambut alami yang dikeringkan ketika kedalaman muka air rata-rata di bawah 0,7 m (Hooijer et al., 2012).



Gambar 4 Hubungan antara tinggi muka air tanah dengan penurunan permukaan gambut (Hooijer et al., 2012a)

Terdapat tiga faktor utama yang dinilai sebagai kontribusi utama penyebab penurunan muka tanah pada lahan gambut (et al., 2012a), yaitu: oksidasi karbon, pemadatan dan penyusutan, serta konsolidasi.

Drainase berlebih pada lahan gambut dapat menyebabkan penurunan



Gambar 5 Proses Penurunan Gambut

permukaan lahan (*subsidence*) yang signifikan sebagai akibat dari penyusutan gambut dan oksidasi karbon yang dampak akhirnya adalah pengurangan kandungan karbon pada lahan gambut. Tingkat oksidasi karbon pada lahan gambut yang telah dibuka dinilai sebagai sebab utama dari peningkatan emisi gas rumah kaca dunia. Diperkirakan kehilangan karbon hasil dari emisi carbon dioksidasi dari lahan gambut bervariasi mulai dari 40 hingga 60 t CO₂-eq/ha/tahun dengan asumsi kedalaman muka air tanah sekitar 0,7 m (Hooijer et al., 2006), belum termasuk kehilangan karbon akibat dari kebakaran lahan.

Gambar 5, menunjukkan bahwa dalam kondisi alami dimana tidak terjadi drainase berlebih, gambut dapat dikonservasi sehingga tidak terjadi emisi sebagai dampak dari pengeringan lahan. Proses emisi karbon pada lahan mulai terjadi setelah dilakukan pengeringan lahan melalui proses drainase, yang berdampak pada penurunan muka lahan gambut hingga kemudian berakhir pada saat elevasi gambut sama dengan elevasi muka air saluran.

Untuk mengetahui berapa sebenarnya tingkat emisi karbon yang ada pada lahan gambut di Indonesia, diperlukan suatu metode pendekatan yang simpel namun akurat sehingga dapat digunakan sebagai dasar dalam proses perencanaan dan penentuan kebijakan pengelolaan selanjutnya. Untuk itu diperlukan adanya pengukuran terhadap tingkat penurunan muka tanah yang dikombinasi dengan data karakteristik gambut, salah satu diantaranya data ketebalan gambut, sebagai data pokok dalam analisa perhitungan emisi karbon pada lahan gambut.

Bila lahan gambut terus mengalami penurunan dan akhirnya mencapai elevasi muka air sungai musim kemarau akibat dari subsidensi di atas, maka masalahpun berakhir, yaitu lahan gambut tidak mungkin akan turun lebih rendah lagi.

Subsidensi selain diakibatkan oleh oksidasi (emisi karbon), juga disebabkan oleh komponen lain, yaitu kompaksi, penyusutan (*shrinkage*) dan konsolidasi.

Oksidasi karbon merupakan proses dekomposisi karbon pada lahan gambut yang telah di keringkan sehingga menyebabkan penurunan kadar organik pada gambut akibat dari oksidasi gas CO₂.

Kompaksi terjadi akibat dari tekanan pada permukaan gambut yang disebabkan oleh peralatan berat, sedangkan penyusutan terjadi melalui kontraksi serat organik yang mengering. Pada prakteknya, kedua proses ini sering tak dapat dibedakan, dan keduanya dianggap sebagai kompaksi.

Konsolidasi dibedakan atas Konsolidasi Primer dan Sekunder, Konsolidasi Primer disebabkan oleh kehilangan air pori pada gambut, proses ini berlangsung cepat bila air tanah berpindah secara cepat, terutama pada sistem drainase yang rapat pada gambut dengan permeabilitas yang tinggi.. Sementara itu Konsolidasi Sekunder adalah fungsi dari tahanan material gambut padat terhadap kompresi, proses konsolidasi ini berlangsung lambat dan hanya merupakan bagian kecil dari konsolidasi total (Hooijer et al., 2012a). Konsolidasi umumnya terjadi di tahun-tahun pertama setelah terjadi drainase,

kemudian prosentasi oksidasi akan konstan dan dapat dihitung dengan persamaan.

Selanjutnya volume gambut yang hilang akibat dari oksidasi dan kompaksi serta prosentasi subsidensi akibat oksidasi dapat dihitung dengan persamaan (Driessen and Soeprahardjo, 1974):

$$V_{ox} = ((V_1 * BD_1) - (V_{rest} * BD_2))/BD_1$$

dan:

$$V_{comp} = V_{rest} * (BD_2 - BD_1)/BD_1$$

dan

$$P_{ox} = V_{ox} * BD_1 / (V_{ox} * BD_1 + (V_{comp} * BD_1))$$

dimana:

- V_{ox} = Volume gambut yang hilang akibat oksidasi (cm^3);
- V_{comp} = Volume gambut yang hilang akibat kompaksi (cm^3);
- V_{rest} = Volume gambut sesudah subsidensi, di atas muka air anah terdalam (cm^3);
- V_1 = Volume gambut sebelum subsidensi, di atas muka air tanah terdalam (cm^3);
- BD_1 = *Bulk density* asli di atas muka air tanah terdalam ($g\ cm^{-3}$);
- BD_2 = *Bulk density* baru di atas muka air tanah terdalam, sesudah subsidensi ($g\ cm^{-3}$);
- P_{ox} = Prosentasi subsidensi akibat oksidasi (%).

Upaya konservasi untuk mencegah penurunan muka tanah pada lahan gambut sangat penting dilakukan karena jika penurunan permukaan ini berlangsung terus menerus, pada tahap tertentu akan berdampak pada tingkat drainabilitas lahan dimana lahan akan terus tergenangi karena tinggi permukaan lahan yang sangat rendah sehingga air tidak dapat terdrainase ke sungai. Upaya konservasi pada lahan gambut dapat dilakukan dengan mempertahankan tinggi muka air tanah setinggi mungkin yaitu dengan cara memasang pintu-pintu air pada saluran. Namun bila kondisi memungkinkan, lebih baik bila saluran ditutup total dengan tanggul gambut yang dipadatkan.

2.2 Gambut dan Karbon

2.2.1 Volume gambut

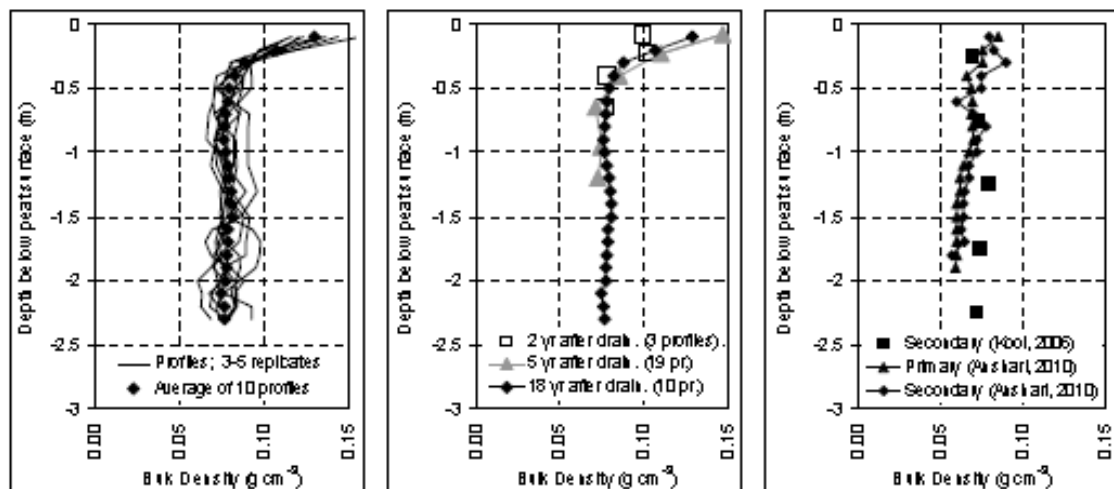
Volume gambut total adalah volume dari suatu area gambut yang terpilih yang dihitung dari perkalian antara kedalaman gambut (tinggi dari permukaan lahan gambut sampai dengan dasar gambut) dengan luasan area terpilih tersebut. Perlu diketahui bahwa tidak semua volume gambut total akan teroksidasi, sebagian dari volume tersebut masih akan tersimpan sebagai karbon sampai gambut tersebut berada di bawah muka air (*Drainage Limit*, DL).

Pada umumnya volume gambut yang digunakan adalah volume gambut di atas DL, yaitu volume gambut yang terletak antara permukaan lahan gambut sampai dengan garis asumsi batas drainase, dimana dalam hal ini diasumsikan garis tersebut mempunyai kemiringan 20 cm/km dari muka air banjir di sungai (Hooijer et al. 2012b).

2.2.2 Bulk density

Bulk density (BD) adalah berat total massa kering dari bubuk, butiran-butiran tanah, atau pecahan benda padat dibagi dengan total volume (g cm^{-3}). Proses oksidasi murni pada lahan gambut tidak meningkatkan nilai BD dan pada kenyataannya bahkan dapat mengurangi. Sebaliknya pada proses kompaksi dan konsolidasi, keduanya akan meningkatkan nilai BD (Hooijer et al., 2012a).

Nilai BD bervariasi terhadap kedalaman gambut (lihat *Annex 1*), semakin dalam gambut, maka akan semakin kecil nilai BD-nya. Berikut adalah gambaran dari besaran nilai BD.



Gambar 6 Sebaran *bulk density* pada lahan gambut berdasarkan kedalamannya (Hooijer et al., 2012a)

2.2.3 Kandungan karbon

Kandungan karbon pada umumnya diambil sekitar 50% - 55%, nilai ini bila dikalikan dengan berat kering material akan menjadi jumlah karbon yang hilang. Dimana berat kering material adalah volume gambut yang teroksidasi dikalikan dengan nilai *Bulk Density* (BD). Selanjutnya besaran emisi karbon ekuivalen diperoleh dengan mengalikan berat kering karbon dengan faktor 3,66. Faktor ini berasal dari berat molar CO_2 /berat molar karbon, yaitu: $44.0095/12.0107 = 3,66$.

Sebagai ilustrasi diberikan contoh dalam angka sebagai berikut:

Volume gambut	= 0,01 m * 10.000 m ²	= 100 m ³
Volume oksidasi	= 80% * 100 m ³	= 80 m ³
Dry material	= BD * 80 m ³ = 0,1 * 80 m ³	= 8 ton DM
Karbon	= 50% * 8 ton DM	= 4 ton CO
Emisi karbon	= 4 ton C * 3,66	= 15 ton CO ₂ /ha/cm

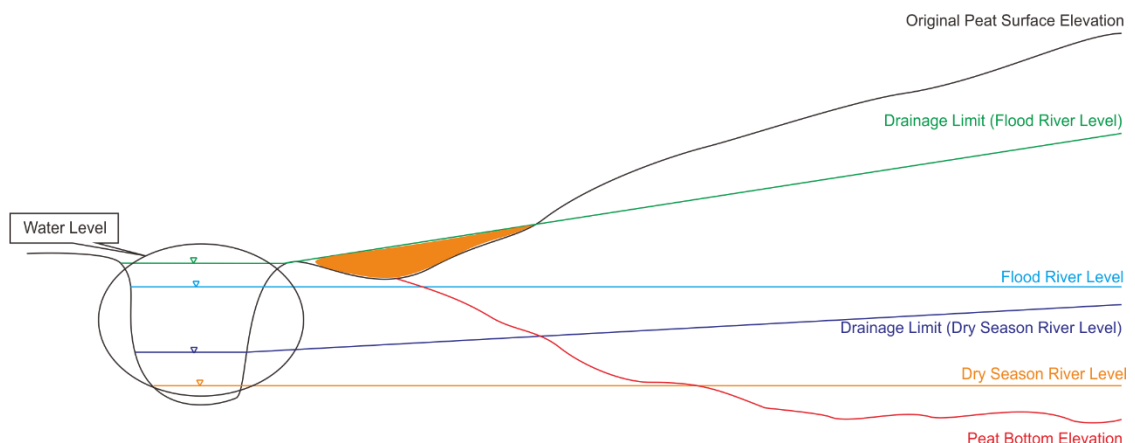
(Lihat *Annex 2* untuk penjelasan lebih lanjut).

Nilai kandungan karbon mempunyai dampak proporsional terhadap perhitungan kehilangan karbon akibat subsidensi. Dengan asumsi nilai kandungan karbon diambil sebesar 50% - 60% sebagai pengganti dari nilai 55% yang umum digunakan (dari literatur) pada kondisi gambut fibrik dan hemik dengan kandungan mineral rendah, maka akan mengurangi atau menambah besaran kehilangan karbon sebanyak 10% (Hooijer et al., 2012a).

2.3 Hidrologi dan Pengelolaan Air

2.3.1 Batas drainase (*drainage limit*)

Batas drainase didefinisikan sebagai garis kemiringan yang diasumsikan sebagai pembawa dari muka air banjir sungai atau muka air sungai musim kemarau bila sungai yang menjadi acuan, dan muka air rata-rata laut (MSL) bila laut yang menjadi acuan, menuju ke lahan dengan faktor kemiringan 0,2 m per km panjang. Kemiringan pembawa ini menunjukkan kemiringan muka air yang harus dipertahankan di saluran agar hujan dapat didrainase dari lahan. Nilai kemiringan 0,2 m per km panjang adalah nilai yang umum digunakan atau aturan praktis (*rule of thumb*) pada desain dan perkiraan sistem drainase, misalnya DID Sarawak (2001) dan Hooijer et al. (2012b). Batas drainase dapat dianggap sebagai garis batas, dimana masalah drainase mulai terjadi. Pada saat muka air sungai tinggi, apabila lahan gambut berada di bawah batas drainase ini maka dapat dikatakan bahwa drainase tidak dapat dilakukan dan akan mengakibatkan banjir. Untuk lebih jelasnya, lihat **Gambar 7**.



Gambar 7 Garis batas drainase

Selanjutnya muka air banjir sungai dan muka air sungai musim kemarau didefinisikan sebagai berikut:

Muka air banjir sungai adalah elevasi muka air tertinggi di sungai pada saat banjir di musim hujan. Muka air ini bisa lebih tinggi lagi pada sungai yang masih dipengaruhi oleh pasang surut air laut, yaitu saat dimana air laut pasang.

Muka air sungai musim kemarau adalah elevasi muka air rata-rata di sungai pada saat musim kemarau. Muka air ini bisa lebih rendah lagi pada sungai yang masih dipengaruhi oleh pasang surut air laut, yaitu saat dimana air laut surut.

2.4 Penurunan Muka Tanah Lahan Gambut (*Subsidence*)

2.4.1 Hubungan antara tinggi muka air rata-rata dengan penurunan permukaan tanah

Penurunan permukaan tanah pada lahan gambut dapat dikorelasikan berbanding lurus dengan kedalaman muka air tanah (Hooijer et al., 2012a). Hasil penelitian menunjukkan bahwa semakin dalam muka air tanah akan berdampak pada semakin tingginya tingkat penurunan permukaan lahan. **Gambar 4** di atas menunjukkan bahwa pemanfaatan lahan juga berpengaruh terhadap tingkat penurunan permukaan lahan. Tingkat penurunan lahan pada area pertanian lebih tinggi dibandingkan dengan hutan alami. Bahkan untuk lahan pertanian, penurunan permukaan lahan akan terus terjadi meskipun tinggi muka air tanah dipertahankan menyamai tinggi muka tanah.

Hooijer et al. (2012a) membuat suatu persamaan linear yang menghubungkan antara tingkat penurunan permukaan lahan gambut dengan tinggi muka air tanah rata-rata baik untuk lahan perkebunan Akasia dan lahan hutan alami. Persamaan tersebut dapat dijabarkan sebagai berikut:

Lahan perkebunan Akasia : $S = 1,5 - 4,98 * WD$ (Persamaan 1)

Lahan hutan alami : $S = 0,69 - 5,98 * WD$ (Persamaan 2)

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

METODOLOGI (lihat juga Annex 2)

3.1 Gambut dan Karbon

3.1.1 Perhitungan volume gambut

Data awal yang digunakan adalah peta elevasi (peta yang dihasilkan dari LiDAR penginderaan dengan menggunakan teknologi laser) lokasi studi Sei Ahas yang sudah dilengkapi dengan layout saluran dengan detail elevasi permukaan lahan serta elevasi air pada saluran. Peta elevasi untuk Sei Ahas ditampilkan dalam bentuk raster dengan resolusi 100 m (sumber: proyek KFCP, *processed by Deltares*) sebagai *layer* pertama dalam pemodelan ini. Perhitungan dilakukan dengan menggunakan perangkat lunak GIS (QGIS).

Data kedua yang digunakan adalah data sebaran kedalaman gambut yang dimodelkan dalam bentuk *shape file* (format titik coklat pada gambar 8) pada lokasi yang sama. Peta *shape file* untuk data kedalaman gambut ini kemudian dikonversi menjadi peta kontur sebaran ketebalan gambut (data raster). Tahap selanjutnya peta elevasi dikombinasikan dengan peta kontur sebaran kedalaman gambut dengan cara interpolasi data raster dengan menggunakan *raster calculation* (peta elevasi dikurangi dengan peta sebaran kedalaman data gambut) untuk menghasilkan peta elevasi dasar gambut.

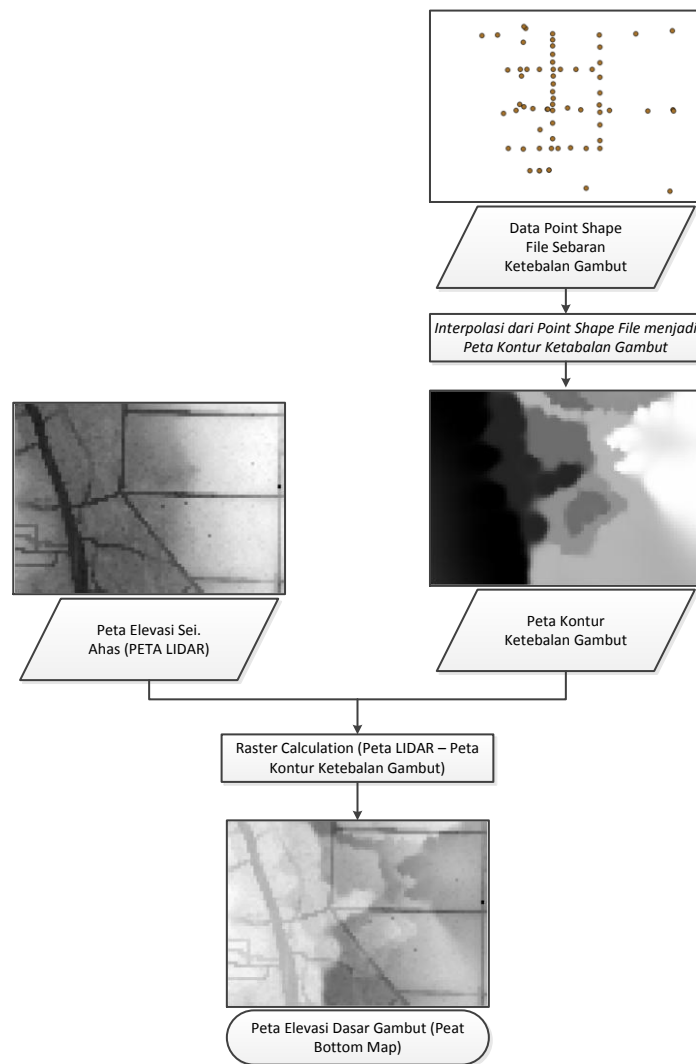
Kedalaman gambut yg digunakan dalam latihan ini berasal dari: CKPP (2005, 2007); jumlah titik pengukuran sebanyak 65 buah dengan rentang kedalaman

0,5 – 10,15 m, KFCP (2011); jumlah titik pengukuran sebanyak 366 buah dengan rentang 0 – 9,72 m, Balai Rawa (2011 – 2012); jumlah titik pengukuran sebanyak 38 buah dengan rentang kedalaman 0 - >6 m, Puslitanak (1992); jumlah titik pengukuran sebanyak 11 buah dengan rentang kedalaman 0 - 6 m, untuk lebih jelasnya lihat *Annex 1*. Pada *workshop 8–11 Oktober 2012*, data CKPP dihilangkan karena nilainya sangat tinggi dibandingkan data dari sumber yg lain.

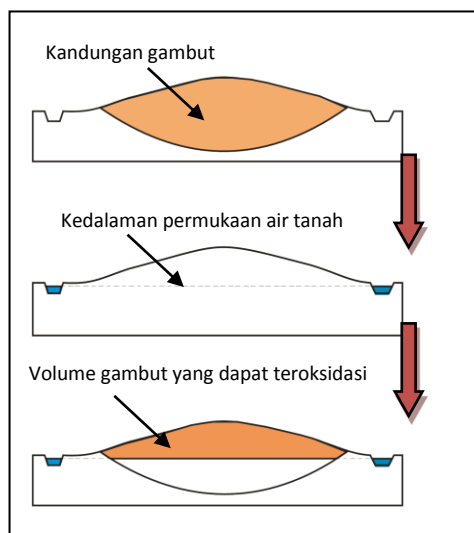
Peta elevasi kemudian dibandingkan dengan peta elevasi dasar gambut, untuk menentukan volume gambut.

Bila peta elevasi ini kemudian dibandingkan dengan kedalaman permukaan air tanah, maka diperoleh volume gambut yang dapat teroksidasi. Dalam hal ini gambut yang dapat teroksidasi adalah gambut yang berada di atas permukaan air tanah.

Kondisi permukaan air tanah pada lahan gambut sangat bervariasi. Permukaan air tanah pada musim hujan akan lebih tinggi dibanding dengan musim kering. Selain itu, kondisi tinggi muka air pada saluran juga akan berpengaruh terhadap tinggi muka air tanah. Hooijer et al. (2012a) mempergunakan tinggi muka air tanah rata-rata dalam satu tahun untuk menentukan hubungan antara tinggi muka air tanah dengan tingkat penurunan permukaan lahan gambut. Lihat Gambar 4 di atas.



Gambar 8 Proses analisa untuk memperoleh peta elevasi dasar gambut



Gambar 9 Volume gambut yang dapat teroksidasi

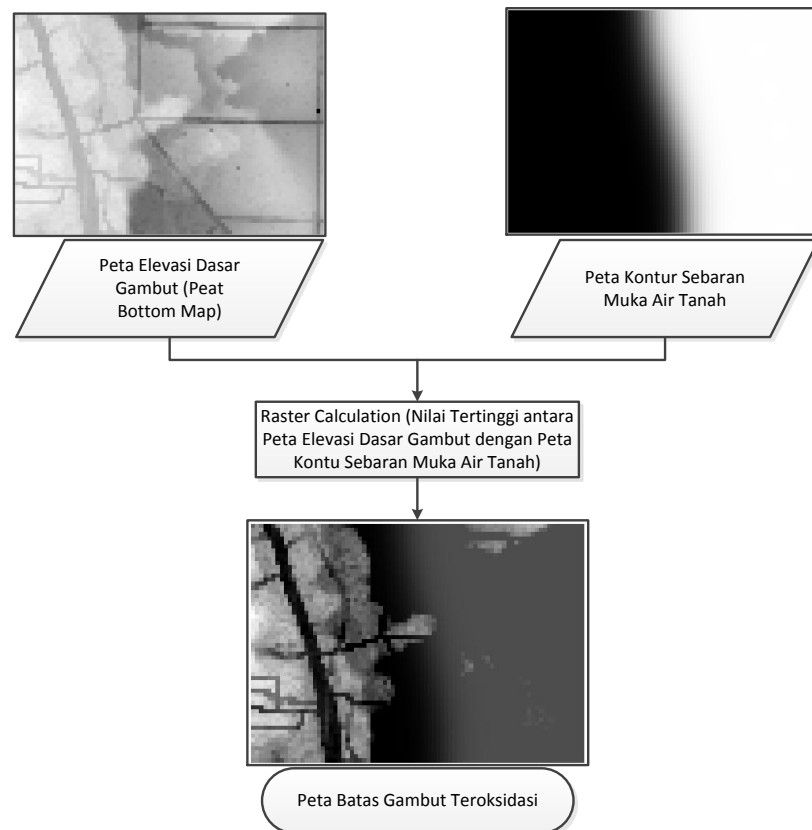
dalam hal ini dinamakan dengan

Selanjutnya dibuat kontur sebaran muka air dengan asumsi kenaikan muka air sebesar 20 cm/km, dan hasil kontur tersebut ditambahkan dengan peta sebaran air sungai pada musim hujan.

Proses interpolasi dilakukan dengan cara pembuatan satu layer baru (*shape file*) yang menggambarkan sebaran data elevasi muka air saluran. Dari data *shape file* distribusi sebaran muka air saluran ini kemudian dilakukan proses interpolasi untuk memperoleh peta kontur sebaran muka air tanah (*data raster*).

Tahap selanjutnya adalah menyusun layer baru yang digunakan untuk menentukan lapisan gambut yang dapat teroksidasi, lapisan

gambut yang teroksidasi adalah lapisan gambut yang terletak di atas permukaan air tanah. Sementara tidak semua tanah yang ada di permukaan air tanah adalah tanah gambut, sebagian berupa tanah mineral yang tidak teroksidasi.



Gambar 10 Proses interpolasi untuk menghasilkan peta batas gambut teroksidasi

Peta batas gambut teroksidasi merupakan nilai elevasi tertinggi yang diperoleh dari perbandingan antara peta kontur sebaran muka air tanah dengan peta elevasi dasar gambut (**Gambar 10**). Peta batas gambut teroksidasi inilah yang dipergunakan sebagai dasar perhitungan volume gambut yang dapat teroksidasi.

3.1.2 Simpanan karbon

Perhitungan volume gambut yang dapat teroksidasi dilakukan dengan cara mengalikan ketebalan gambut di atas muka air tanah dengan nilai persen oksidasi, yaitu diambil 80% untuk Sei Ahas (tidak ada referensi, hanya petunjuk dari ALJOSJA, Ronald bisa tolong bantu cari referensinya ?), nilai *bulk density* gambut dan luasan lahan.

Sementara itu volume gambut yang dapat teroksidasi dapat dihitung dengan menggunakan metode raster calculation dimana peta elevasi permukaan dikurangi dengan peta batas gambut teroksidasi, yaitu bila muka air tanah masih di bawah batas drainase. Hasilnya dalam hal ini dinamakan peta volume gambut yang dapat teroksidasi yaitu berupa sebaran kedalaman gambut di atas batas drainase. Terdapat beberapa batas drainase yang bisa digunakan, dalam

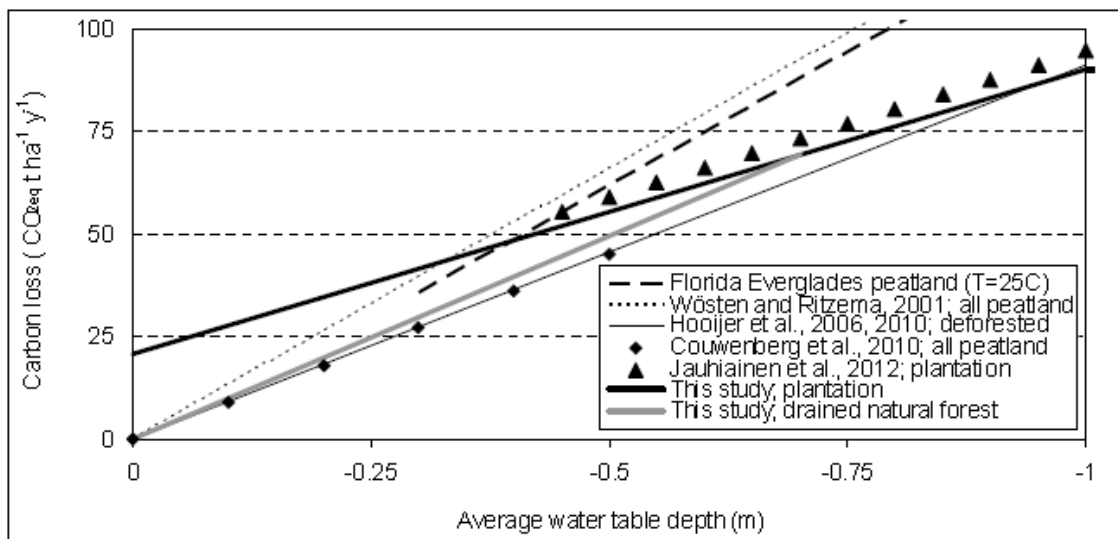
workshop ini digunakan **2 (dua) buah batas drainase**, yaitu: batas drainase 0,2m/km darimuka air sungai saat banjir dan muka air sungai musim kemarau.

Perhitungan jumlah simpanan karbon yang ada dari total berat kering gambut dapat diketahui dengan mengalikan peta volume gambut yang dapat teroksidasi dengan faktor 55% kandungan karbon (Hooijer et al. 2012a).

3.1.3 Emisi karbon

Emisi karbon tahunan rata-rata dapat dihitung dengan membagi nilai simpanan karbon dengan jumlah tahun bila semua gambut habis teroksidasi (yaitu untuk gambut di atas batas drainase muka air banjir di sungai atau di atas muka air sungai musim kemarau).

Sementara itu jumlah tahun gambut habis teroksidasi dapat diperoleh dari ketebalan gambut teroksidasi dibagi dengan laju penurunan lahan gambut (*subsidence rate*) dalam cm/tahun. Sedangkan laju penurunan lahan gambut diperoleh dari grafik di **Gambar 4**. Selanjutnya simpanan karbon dapat diubah menjadi CO₂ ekivalen dengan mengalikan angka simpanan karbon dengan faktor 3,66. Dari emisi karbon tahunan rata-rata selanjutnya dapat dihitung emisi karbon 25, 50 atau 100 tahun ke depan (bila gambut belum habis). Perhitungan dilakukan dengan pertama-tama meninjau terlebih dahulu volume gambut yang tersedia. Dalam workshop diasumsikan kedalaman muka air tanah tahunan rata-rata, kemudian diperoleh laju subsidensi dan dilanjutkan dengan perhitungan berapa lama hal ini berlangsung sebelum batas drainase tercapai. Selanjutnya berdasarkan waktu ini dapat diperoleh emisi karbon untuk sekian tahun mendatang dan belum tentu mencapai nilai 50 atau 100 tahun ke depan.



Gambar 11 Hubungan antara tinggi muka air tanah dengan tingkat emisi karbon per tahun (Hooijer et al., 2012a)

Berdasarkan grafik hubungan antara tinggi muka air tanah dengan tinggi emisi karbon per tahun (Hooijer et al., 2012a) seperti pada **Gambar 11** di atas, maka dapat diperkirakan dengan ketinggian muka air tanah rata-rata berkisar 0,4 m,

dapat diperkirakan akan menghasilkan emisi karbon (CO₂) tiap tahun sebesar kurang lebih 50 ton per hektar.

Penurunan gambut dan laju emisi karbon

Skenario dari perhitungan kecepatan penurunan gambut, waktu penurunan gambut dan laju emisi karbon dapat diuraikan sebagai berikut :

- Kondisi tidak ada bendung dan tanpa penghutanan kembali
- Kondisi ada 3 bendung dan **tanpa** penghutanan kembali
- Kondisi ada 3 bendung **dan** penghutanan kembali
- Kondisi tidak ada bendung, **tanpa** penghutanan kembali dan **adanya kebakaran**

Selanjutnya metode perhitungan dari hal-hal di atas dapat diuraikan sebagai berikut:

Kecepatan penurunan gambut (*subsidence rate*) di Sei Ahas, dihitung dengan persamaan (1) di atas $Subsidence\ rate\ cm/tahun = 1,5 - 4,98 \cdot WD\ (meter)$

Water depth average (WD) diasumsikan sebesar 0,4 m, maka kecepatan penurunan gambutnya di kawasan Sei. Ahas.

Selanjutnya waktu penurunan gambut yang dibutuhkan diketahui dari ketebalan gambut maksimum di atas *drainage limit, flood river level, dan dry season river level* dibagi dengan nilai *subsidence rate*:

$$Time\ Subsidence\ tahun = \frac{Peat\ Thickness\ cm}{Subsidence\ Rate\ cm/tahun} \dots\dots\dots (Persamaan\ 3)$$

Laju emisi karbon dapat dihitung dengan cara membagi emisi karbon dengan waktu penurunan gambut, sebagai berikut:

$$Peat\ Mass\ Loss\ ton/tahun = \frac{Emission\ Carbon\ ton}{Time\ Subsidence\ tahun} \dots\dots\dots (Persamaan\ 4)$$

Untuk perhitungan kecepatan penurunan gambut, waktu penurunan karbon dan laju emisi karbon di kawasan Sei. Ahas (kondisi ada 3 bendung dan **tanpa** penghutanan kembali), laju penurunan gambut (*subsidence rate*) dihitung dengan nilai WD tereduksi sebesar menjadi 50%, yaitu 0,2 m karena dipengaruhi adanya 3 buah bendung.

Demikian pula untuk perhitungan kecepatan penurunan gambut, waktu penurunan karbon dan laju emisi karbon di kawasan Sei. Ahas (kondisi ada 3 bendung **dan** penghutanan kembali), laju penurunan gambut (*subsidence rate*) dihitung dengan nilai WD, yaitu 0,2 m dengan persamaan sebagai berikut:

$$Subsidence\ rate\ cm/tahun = 7.06 \cdot WD\ (meter) \dots\dots\dots (Persamaan\ 5)$$

Untuk perhitungan kecepatan penurunan gambut, waktu penurunan karbon dan laju emisi karbon di kawasan Sei. Ahas (**kondisi tidak ada bendung, tanpa**

penghutanan kembali dan adanya kebakaran) diambil data dan asumsi sebagai berikut:

Berdasarkan peta sebaran kebakaran lahan gambut di Kawasan Sei. Ahas tahun 2001-2009, diketahui adanya 54 titik api dari 27 *grid cells* di kawasan Sei Ahas (MODIS *fire hotspots cells*). Sehingga kalau dirata-ratakan maka diperoleh 2,19 titik api per *grid cell* (2,19 *fires/grid cell*) dan untuk selama 9 tahun diperoleh 0,243 *fires/grid cell/year*. Diasumsikan dari setiap 1 titik api terjadi penurunan lahan gambut sebesar 10 cm/tahun (Page,??). Dengan kondisi tidak adanya bendung, tanpa penghutanan kembali dan terjadi kebakaran, maka persamaan yang digunakan adalah:

$$\text{Subsidence rate cm/tahun} = 1,5 - 4,98 \cdot \text{WD meter} + \text{Annual Average Fires ... (6)}$$

3.2 Batas Hidrologi

Batas drainase (*drainage limit*)

Batas drainase dalam perhitungan di sei Ahas ini diambil dari muka air di sungai dengan faktor kemiringan 0,2 m per km panjang. Batas drainase pada perhitungan ini dilakukan baik yang terjadi pada musim kemarau maupun pada musim banjir sungai.

Muka air sungai musim kemarau

Muka air sungai musim kemarau adalah elevasi muka air rata-rata di sungai pada saat musim kemarau. Dalam studi ini diasumsikan bahwa muka air saat musim kering pada Sungai Kapuas adalah 0.99 m. Hal ini berdasarkan dari hasil rerata data pengamatan muka air di muara saluran lokasi studi baik pada waktu *neap tides* (1–2 Oktober 2012) maupun pada *spring tides* (8–9 Oktober 2012) yang bertepatan pada musim kering. Pengikatan elevasi muka air dilakukan melalui *Bench Mark* yang dipasang dan Peta LIDAR (KFCP, 2012).

Muka air banjir sungai

Muka air banjir sungai adalah elevasi muka air tertinggi di sungai pada saat banjir di musim hujan. Tapi dalam studi ini diketahui bahwa pada saat banjir, elevasi tinggi muka air sebesar 1.59. Sama akan halnya pada musim kering, data ini diperoleh dari data hasil rerata pengamatan muka air lapangan baik pada waktu *neap tides* (31 Mei – 1 Juni 2012) maupun pada *spring tides* (6–8 Juni 2012) yang bertepatan pada musim basah.

Catatan:

Sei Ahas terletak ± 160 km (mengikuti alur sungai) dari muara Sungai Kapuas, oleh karena itu muka air banjir dan muka air musim kemarau di sungai lebih tinggi dari MSL.

3.3 Intervensi Hidrologi

Dalam *workshop* ini dilakukan 4 (empat) skenario tindakan/perlakuan hidrologi sebagai berikut:

- Kondisi tanpa bendung dan tanpa penghutanan kembali,
- Kondisi dengan 3 bendung tanpa penghutanan kembali,
- Kondisi dengan 3 bendung dan penghutanan kembali, serta

- Kondisi tanpa bendung dan tanpa penghutanan kembali dengan adanya kebakaran.

Pembangunan bendung akan menaikkan muka air di saluran. Dengan kenaikan muka air ini maka laju penurunan lahan gambut juga akan berbeda, demikian pula dengan besarnya nilai emisi karbon.

4 HASIL STUDI

Dari hasil komputasi diperoleh hasil sebagai berikut:

1. Besaran volume gambut, volume karbon dan emisi karbon di Kawasan Sei. Ahas untuk berbagai kedalaman air tanah dapat dilihat pada Tabel 1 di bawah

Tabel 1 Volume Gambut di Kawasan Sei Ahas

URAIAN	VOLUME GAMBUT (Mm ³)	VOLUME GAMBUT TEROKSIDASI (Mm ³)	MATERIAL GAMBUT KERING (Mton)	VOLUME KARBON GAMBUT (Mton)		EMISI KARBON (Mton)	
				CARBON CONTENT SHALLOW PEAT (50%)	CARBON CONTENT SHALLOW PEAT (55%)	CARBON CONTENT SHALLOW PEAT (50%)	CARBON CONTENT SHALLOW PEAT (55%)
Gambut keseluruhan	36.070	28.856	2.775	1.387	1.526	5.087	5.596
Gambut di atas muka air sungai musim kemarau	32.065	25.652	2.481	1.240	1.365	4.548	5.003
Gambut di atas <i>drainage limit</i> (musim kemarau)	27.078	21.662	2.113	1.057	1.162	3.874	4.262
Gambut di atas muka air banjir sungai	27.876	22.301	2.157	1.079	1.186	3.955	4.350
Gambut di atas <i>drainage limit</i> (banjir sungai)	21.629	17.303	1.677	0.839	0.923	3.075	3.383

Volume gambut teroksidasi diperoleh dengan mengalikan volume gambut dengan nilai oksidasi sebesar 80%, sedang volume gambut kering adalah hasil perkalian volume gambut teroksidasi dengan nilai *bulk density*. Selanjutnya volume karbon gambut adalah volume gambut kering dikali dengan nilai kandungan karbon untuk gambut dangkal sebesar 50% dan 55% (nilai rata-rata), selanjutnya besaran emisi karbon diperoleh dari volume karbon dikalikan dengan faktor 3,66.

Material gambut kering di Tabel 1 diatas telah diverifikasi secara manual dengan Ms. Excel dan keduanya memberikan hasil yang sama.

Perhitungan di atas dilakukan pada kawasan Sei Ahas dengan luasan area kurang lebih 19057973.6 m² (1905.8 ha), kedalaman gambut bervariasi antara 0 m s/d 6 m dengan rata-rata kedalaman gambut 1.8755 m

2. Laju subsidensi, besaran kecepatan penurunan gambut dan waktu penurunan di kawasan Sei. Ahas dengan kondisi tanpa bendung dan tanpa penghutanan kembali, kondisi dengan 3 bendung tanpa penghutanan kembali, kondisi dengan 3 bendung dan penghutanan kembali, serta kondisi

tanpa bendung dan tanpa penghutanan kembali dengan adanya kebakaran pada berbagai kedalaman air tanah dapat dilihat pada Tabel 2 di bawah.

Tabel 2 Laju subsidensi (Persamaan 1), kecepatan dan waktu penurunan gambut (Persamaan 3) di kawasan Sei Ahas

URAIAN	ACTUAL CONDITION; SUBSIDENCE RATE 3,5 CM/YEAR		3 DAM; NO REFORESTATION; SUBSIDENCE RATE 2,5 CM/YEAR		3 DAM; REFORESTATION; SUBSIDENCE RATE 1,6 CM/YEAR		NO DAM; NO REFORESTATION; FIRES; SUBSIDENCE RATE 5,9 CM/YEAR	
	KECEPATAN PENURUNAN GAMBUT (Cm/Tahun)	WAKTU PENURUNAN GAMBUT (Tahun)	KECEPATAN PENURUNAN GAMBUT (Cm/Tahun)	WAKTU PENURUNAN GAMBUT (Tahun)	KECEPATAN PENURUNAN GAMBUT (Cm/Tahun)	WAKTU PENURUNAN GAMBUT (Tahun)	KECEPATAN PENURUNAN GAMBUT (Cm/Tahun)	WAKTU PENURUNAN GAMBUT (Tahun)
Gambut Keseluruhan	3.492	54	2.496	75	1.618	116	5.920	32
GAMBUT di atas Muka Air Musim Kemarau	3.492	48	2.496	67	1.618	103	5.920	28
Gambut di atas Batas Muka Air Tanah (Musim Kemarau)	3.492	40	2.496	56	1.618	87	5.920	24
Gambut di atas Muka Air Banjir	3.492	41	2.496	58	1.618	89	5.920	24
Gambut di atas Batas Muka Air Tanah (Musim Banjir)	3.492	32	2.496	45	1.618	69	5.920	19

Ketebalan gambut maksimum di kawasan Sei Ahas adalah 6 m.

3. Besaran laju emisi dan emisi karbon 25 tahun, 50 tahun dan 100 tahun dengan kondisi tanpa bendung dan tanpa penghutanan kembali, kondisi dengan 3 bendung tanpa penghutanan kembali, kondisi dengan 3 bendung dan penghutanan kembali, serta kondisi tanpa bendung dan tanpa penghutanan kembali dengan adanya kebakaran pada berbagai kedalaman muka air tanah disajikan pada Tabel 3 di bawah ini.

Tabel 3 Laju emisi karbon dan emisi karbon 25 tahun, 50 tahun, dan 100 tahun di kawasan Sei Ahas (*Carbon Content Shallow Peat 50%*)

URAIAN	ACTUAL CONDITION				3 DAM; NO REFORESTATION				3 DAM; REFORESTATION				NO DAM; NO REFORESTATION; FIRES			
	LAJU EMISI KARBON (Mton/Thn)	EMISI KARBON (Mton)			LAJU EMISI KARBON (Mton/Thn)	EMISI KARBON (Mton)			LAJU EMISI KARBON (Mton/Thn)	EMISI KARBON (Mton)			LAJU EMISI KARBON (Mton/Thn)	EMISI KARBON (Mton)		
		25 Thn	25 - 50 Thn	50 -100 Thn		25 Thn	25 - 50 Thn	50 - 100 Thn		25 Thn	50 Thn	50 -100 Thn		0 - 25 Thn	25 - 50 Thn	100 Thn
Gambut Keseluruhan	0.095	2.375	4.736 (50 thn)	5,087 (54 thn)	0.068	1.693	3.385 (50 thn)	6.771 (75 thn)	0.044	1.097	2.194	4.389 (100 thn)	0.161	4.015 (25 thn)	5.087 (32 thn)	-
Gambut di atas Muka Air Musim Kemarau	0.095	2.380	4.548 (48 thn)	-	0.068	1.701	3.403 (50 thn)	6.805 (67 thn)	0.044	1.103	2.206	4.411 (100 thn)	0.161	4.035 (25 thn)	4.548 (28 thn)	-
Gambut di atas Batas Muka Air Tanah (Musim Kemarau)	0.096	2.401	3.874 (40 thn)	-	0.069	1.716	3.432 (50 thn)	6.864 (56 thn)	0.044	1.112	2.225	3.874 (87 thn)	0.163	3.874 (24 thn)	-	-
Gambut di atas Muka Air Banjir	0.095	2.386	3.955 (41 thn)	-	0.068	1.705	3.410 (50 thn)	6.821 (58 thn)	0.044	1.105	2.211	3.955 (89 thn)	0.162	3.955 (24 thn)	-	-
Gambut di atas Batas Muka Air Tanah (Musim Banjir)	0.096	2.390	3.075 (32 thn)	-	0.068	1.708	3.075 (45 thn)	-	0.044	1.107	2.215	3.075 (69 thn)	0.162	3.075 (19 thn)	-	-

Tabel 4 Laju emisi karbon dan emisi karbon 25 tahun, 50 tahun, dan 100 tahun di kawasan Sei Ahas (*Carbon Content Shallow Peat 55%*)

URAIAN	ACTUAL CONDITION				3 DAM; NO REFORESTATION				3 DAM; REFORESTATION				NO DAM; NO REFORESTATION; FIRES			
	LAJU EMISI KARBON (Mton/Thn)	EMISI KARBON (Mton)			LAJU EMISI KARBON (Mton/Thn)	EMISI KARBON (Mton)			LAJU EMISI KARBON (Mton/Thn)	EMISI KARBON (Mton)			LAJU EMISI KARBON (Mton/Thn)	EMISI KARBON (Mton)		
		25 Thn	25 - 50 Thn	50 -100 Thn		25 Thn	25 - 50 Thn	50 - 100 Thn		25 Thn	50 Thn	50 -100 Thn		0 - 25 Thn	25 - 50 Thn	100 Thn
Gambut Keseluruhan	0.104	2.605	5.210 (50 thn)	5.596 (54 thn)	0,074	1.862	3.724 (50 thn)	5.596 (75 thn)	0.048	1.207	2.414	4.828 (100 thn)	0.177	4.416 (25 thn)	8.832 (32 thn)	-
Gambut di atas Muka Air Musim Kemarau	0.105	2.618	5.003 (48 thn)	-	0,075	1.871	3.743 (50 thn)	5.003 (67 thn)	0.049	1.313	2.426	4.852 (100 thn)	0.178	4.439 (25 thn)	8.877 (28 thn)	-
Gambut di atas Batas Muka Air Tanah (Musim Kemarau)	0.106	2.641	4.262 (40 thn)	-	0,076	1.888	3.775 (50 thn)	4.262 (56 thn)	0.049	1.224	2.447	4.262 (87 thn)	0.179	4.262 (24 thn)	-	-
Gambut di atas Muka Air Banjir	0.105	2,624	4.350 (41 thn)	-	0,075	1.876	3.751 (50 thn)	4.350 (58 thn)	0.049	1.216	2.432	4.350 (89 thn)	0.178	4.350 (24 thn)	-	-
Gambut di atas Batas Muka Air Tanah (Musim Banjir)	0.105	2.629	3.383 (32 thn)	-	0,075	1.879	3.383 (45 thn)	-	0.049	1.218	2.436	3.383 (69 thn)	0.178	3.383 (19 thn)	-	-

4. Besaran subsidensi dan emisi karbon yang dihasilkan pada tahun pertama sampai pada tahun ke-50 di kawasan Sei. Ahas pada kondisi alamiah tanpa rehabilitasi, kondisi pengembangan lahan perkebunan, kondisi adanya bendung, kondisi adanya bendung dan penghutanan kembali disajikan pada Tabel 4 di bawah.

Besaran subsidensi diperoleh dengan cara perhitungan menggunakan *software* Ms. Excel. Dalam perhitungan ini adapun data-data yang mesti disiapkan yaitu:

- a. Cadangan karbon awal (*initial carbon stock*), untuk mendapatkannya dengan menggunakan rumus dibawah ini;

$$\text{Initial Carbon Stock (MTon CO}_2\text{)} = \text{Peat Volume} * \text{Carbon Content} * \text{BD} * \text{Carbon Ratio}$$

- b. Parameter lainnya yang diperlukan, yaitu:

- Luas wilayah (*area* – Mm²);
- Elevasi lahan gambut awal rerata (*initial average peat surface level* – m);
- Kedalaman saluran awal rerata (*initial canal bottom depth* – m);
- Elevasi muka air musim kering (*dry season river level* – m);
- Kandungan karbon gambut dangkal (*carbon content shallow peat* – 50%);
- Kandungan oksidasi karbon gambut (*carbon content oxidation* – 80%);
- *Bulk density* karbon kering (*dry bulk density* – g/cm³);
 Nilai data ini ditentukan dari nilai ketebalan gambut rata-rata pada kawasan suatu kawansan studi.
- Rasio karbon (*carbon ratio* – 3.67);
- Kedalaman air tanah awal (*ground water depth start* – m)
 Untuk data ini dari hasil asumsi, berikut data asumsi berdasarkan berbagai kondisi yang dapat digunakan:
 - 1) Kondisi alamiah tanpa rehabilitasi: 0.4 m;
 - 2) Kondisi pengembangan lahan perkebunan: 0.8 m;
 - 3) Kondisi adanya bendung: 0.3 m;
 - 4) Kondisi adanya bendung dan penghutanan kembali: 0.3 m.

- c. Elevasi air tanah minimum (*ground water level minimum* - m);

$$\text{GWL minimum (m)} = \text{initial average peat surface level} - \text{initial canal bottom depth}$$

- d. Kedalaman air tanah akhir (*ground water depth end* – diasumsikan tidak ada air tanah sehingga dianggap 0,0 m);

- e. Laju penurunan gambut awal (*subsidence start* – m/y);
 Data ini berguna untuk mengetahui besaran penurunan gambut awal, berikut untuk mendapatkan nilai besaran penurunannya berdasarkan dari berbagai kondisi:

- 1) Kondisi alamiah tanpa rehabilitasi;

$$\text{Subsidence start (m/y)} = 0.015 + 0.0498 * \text{GWD start}$$

- 2) Kondisi pengembangan lahan perkebunan;

$$\text{Subsidence start (m/y)} = 0.015 + 0.0498 * \text{GWD start}$$
 - 3) Kondisi adanya bendung;

$$\text{Subsidence start (m/y)} = 0.015 + 0.0498 * \text{GWD start}$$
 - 4) Kondisi adanya bendung dan penghutanan kembali;

$$\text{Subsidence start (m/y)} = 0.0706 * \text{GWD start}$$
- f. Laju penurunan gambut awal (*subsidence end* – m/y);
 Data ini berguna untuk mengetahui besaran penurunan gambut akhir sehingga dapat diketahui tahun seberapa ketersediaan gambut yang tersisa, berikut untuk mendapatkan nilai besaran penurunannya berdasarkan dari berbagai kondisi:
- 1) Kondisi alamiah tanpa rehabilitasi;

$$\text{Subsidence end (m/y)} = 0.015 + 0.0498 * \text{GWD end}$$
 - 2) Kondisi pengembangan lahan perkebunan;

$$\text{Subsidence end (m/y)} = 0.015 + 0.0498 * \text{GWD end}$$
 - 3) Kondisi adanya bendung;

$$\text{Subsidence end (m/y)} = 0.015 + 0.0498 * \text{GWD end}$$
 - 4) Kondisi adanya bendung dan penghutanan kembali;

$$\text{Subsidence end (m/y)} = 0.0706 * \text{GWD end}$$

Tabel 5 Emisi Karbon di Kawasan Sei Ahas Selama 50 Tahun (*Canal Blocking and Reforestation*)

Year	Actual Situation		Autonomous Development - Plantation		Canal Blocking		Canal Blocking, Resforestation	
	Subsidence (m)	Emission (MtonCO2/y)	Subsidence (m)	Emission (MtonCO2/y)	Subsidence (m)	Emission (MtonCO2/y)	Subsidence (m)	Emission (MtonCO2/y)
0	0.035	0.147	0.055	0.230	0.030	0.126	0.0212	0.0889
1	0.035	0.147	0.055	0.230	0.028	0.119	0.0197	0.0826
2	0.035	0.147	0.055	0.230	0.027	0.113	0.0183	0.0768
3	0.035	0.147	0.055	0.230	0.026	0.108	0.0170	0.0714
4	0.035	0.147	0.055	0.230	0.024	0.102	0.0158	0.0663
5	0.035	0.147	0.055	0.230	0.023	0.097	0.0147	0.0616
6	0.035	0.147	0.055	0.230	0.022	0.092	0.0137	0.0573
7	0.035	0.147	0.055	0.230	0.021	0.088	0.0127	0.0532
8	0.035	0.147	0.055	0.230	0.020	0.084	0.0118	0.0495
9	0.035	0.147	0.055	0.230	0.019	0.079	0.0110	0.0460
10	0.035	0.147	0.055	0.230	0.018	0.075	0.0102	0.0427
11	0.035	0.147	0.055	0.230	0.017	0.072	0.0095	0.0397
12	0.035	0.147	0.055	0.230	0.016	0.068	0.0088	0.0369
13	0.035	0.147	0.055	0.230	0.015	0.065	0.0082	0.0343
14	0.035	0.147	0.055	0.230	0.015	0.063	0.0076	0.0319
15	0.035	0.147	0.055	0.230	0.015	0.063	0.0071	0.0296
16	0.035	0.147	0.055	0.230	0.015	0.063	0.0066	0.0275
17	0.035	0.147	0.055	0.230	0.015	0.063	0.0061	0.0256
18	0.033	0.141	0.055	0.230	0.015	0.063	0.0057	0.0238
19	0.032	0.134	0.055	0.230	0.015	0.063	0.0053	0.0221
20	0.030	0.127	0.055	0.230	0.015	0.063	0.0049	0.0206
21	0.029	0.121	0.055	0.230	0.015	0.063	0.0046	0.0191
22	0.027	0.115	0.055	0.230	0.015	0.063	0.0042	0.0178
23	0.026	0.109	0.052	0.219	0.015	0.063	0.0039	0.0165
24	0.025	0.103	0.050	0.209	0.015	0.063	0.0037	0.0153
25	0.023	0.098	0.047	0.198	0.015	0.063	0.0034	0.0143
26	0.022	0.093	0.045	0.188	0.015	0.063	0.0032	0.0132
27	0.021	0.089	0.043	0.179	0.015	0.063	0.0029	0.0123
28	0.020	0.084	0.040	0.170	0.015	0.063	0.0027	0.0114
29	0.019	0.080	0.038	0.143	0.015	0.063	0.0025	0.0106
30	0.018	0.076	0.037	0.000	0.015	0.063	0.0024	0.0099
31	0.017	0.072	0.035	0.000	0.015	0.063	0.0022	0.0092
32	0.016	0.069	0.033	0.000	0.015	0.063	0.0020	0.0085
33	0.016	0.065	0.031	0.000	0.015	0.063	0.0019	0.0079
34	0.015	0.063	0.030	0.000	0.015	0.063	0.0018	0.0074
35	0.015	0.063	0.028	0.000	0.015	0.063	0.0016	0.0069
36	0.015	0.063	0.027	0.000	0.015	0.063	0.0015	0.0064
37	0.015	0.063	0.026	0.000	0.015	0.063	0.0014	0.0059
38	0.015	0.063	0.024	0.000	0.015	0.063	0.0013	0.0055
39	0.015	0.063	0.023	0.000	0.015	0.063	0.0012	0.0051
40	0.015	0.063	0.022	0.000	0.015	0.063	0.0011	0.0048
41	0.015	0.063	0.021	0.000	0.015	0.063	0.0011	0.0044
42	0.015	0.063	0.020	0.000	0.015	0.063	0.0010	0.0041
43	0.015	0.063	0.019	0.000	0.015	0.063	0.0009	0.0038
44	0.015	0.063	0.018	0.000	0.015	0.063	0.0008	0.0035
45	0.015	0.063	0.017	0.000	0.015	0.063	0.0008	0.0033
46	0.015	0.063	0.016	0.000	0.015	0.063	0.0007	0.0031
47	0.015	0.063	0.015	0.000	0.015	0.063	0.0007	0.0028
48	0.015	0.063	0.015	0.000	0.015	0.063	0.0006	0.0026
49	0.015	0.063	0.015	0.000	0.015	0.063	0.0006	0.0025
50	0.015	0.063	0.015	0.000	0.015	0.063	0.0005	0.0023

5 KESIMPULAN

Faktor ketinggian muka air tanah sangat penting baik dalam rangka mencegah penurunan muka lahan gambut maupun mengurangi besaran emisi karbon pada lahan gambut. Semakin dalam penurunan muka air tanah maka semakin lama pula waktu penurunan tanah gambut dan semakin tinggi pula besaran emisi karbon.

Pada Tabel 5 terlihat bahwa pada muka air tanah yang semakin rendah, ketebalan gambut yang akan hilang semakin besar dan waktu penurunan gambut semakin lama.

Tabel 6 Korelasi ketinggian muka air tanah dan waktu penurunan gambut (*3 dams, No reforeststation*)

URAIAN	Ketebalan Gambut Kering Rerata (cm)	Waktu Penurunan Gambut (tahun)
Gambut Keseluruhan	187.6	75
Gambut di atas Muka Air Musim Kemarau	166.8	67
Gambut di atas Batas Drainase Muka Air Tanah (Musim Kemarau)	140.9	56
Gambut di atas Muka Air Banjir	144.7	58
Gambut di atas Batas Drainase Muka Air Tanah (Musim Banjir)	112.3	45

Sementara itu dapat dilihat pula dari Tabel 6 bahwa emisi karbon yang terjadi akan semakin besar dengan semakin rendahnya muka air tanah.

Tabel 7 Korelasi ketinggian muka air tanah dengan besaran emisi karbon (*Carbon Content Shallow Peat 50%*)

URAIAN	Material Gambut Kering (Mton)	Volume Karbon Gambut (Mton)	Emisi Karbon (Mton)
Gambut Keseluruhan	2.775	1.387	5.087
Gambut di atas Muka Air Sungai Musim Kemarau	2.481	1.240	4.548
Gambut di atas Drainage limit (Musim Kemarau)	2.113	1.057	3.874
Gambut di atas Muka Air Banjir Sungai	2.157	1.079	3.955
Gambut di atas Drainage Limit (Banjir Sungai)	1.677	0.839	3.075

Selanjutnya dari hasil perhitungan dapat disimpulkan bahwa *subsidence rate* tanpa perlakuan apapun besarnya = **3,492** cm/tahun dan dengan kondisi ada 3 bendung serta tanpa penghutanan kembali, besarnya = **2,496** cm/tahun (hasil ini diperoleh dengan menggunakan persamaan 1 dari Hooijer et al. 2012, untuk perkebunan Akasia dengan nilai WD tereduksi diasumsikan menjadi 50%, yaitu 0,2 m karena dipengaruhi adanya 3 buah bendung sehingga *subsidence rate* turun sekitar 1 m/tahun) Dan dengan kondisi adanya 3 bendung serta penghutanan kembali, besarnya = **1.618** cm/tahun. Namun dengan kondisi

tidak ada bendung, tanpa penghutanan kembali dan adanya kebakaran, maka besarnya = **5,920** cm/tahun.

Kecepatan penurunan gambut (*subsidence rate*) tersebut, dihitung dengan persamaan sebagai berikut (Hooijer et al., 2012) pada kondisi untuk perkebunan Akasia (lihat persamaan 1):

$$\text{Subsidence rate cm/tahun} = 1,5 - 4,98 \cdot \text{WD (meter)}$$

Nilai WD dengan adanya 3 bendung direduksi sebesar menjadi 50% dari kondisi tanpa perlakuan apapun (0,4 m), menjadi 0,2 m. Dengan kata lain, dengan adanya 3 bendung bila muka air diasumsikan naik 0,2 m maka *subsidence rate* turun sebesar: $(1 - (2,496/3,492)) \cdot 100\% = \mathbf{28,5\%}$

Demikian pula yang terjadi dengan besarnya laju emisi karbon, antara laju emisi karbon dan laju subsidensi mempunyai perilaku yang sama seperti telah diuraikan di atas.

Pada kondisi di atas *drainage limit* baik pada musim kemarau dan musim banjir, laju emisi karbon tanpa perlakuan apapun = **0,096** Mton/tahun dan **0,096** Mton/tahun dengan kondisi ada 3 bendung serta tanpa penghutanan kembali, besarnya = **0,069** ton/tahun dan **0,068** Mton/tahun (hasil ini diperoleh dengan menggunakan persamaan 1 dari Hooijer et al. 2012, untuk perkebunan Akasia dengan nilai WD tereduksi diasumsikan menjadi 50%, yaitu 0,2 m karena dipengaruhi adanya 3 buah bendung sehingga *subsidence rate* turun sekitar 1 m/tahun). Dan dengan kondisi adanya 3 bendung serta penghutanan kembali, besarnya = **0,044** Mton/tahun dan **0,044** Mton/tahun. Namun dengan kondisi tidak ada bendung, tanpa penghutanan kembali dan adanya kebakaran, maka besarnya = **0,163** Mton/tahun dan **0,162** Mton/tahun.

Untuk perhitungan dengan metode yang lain besaran emisi karbon yang dihasilkan selama 50 tahun pada kondisi tanpa perlakuan = **5,28** Mton/tahun dan pada kondisi pengembangan lahan untuk perkebunan besarnya **6,60** Mton/tahun. Sedangkan pada kondisi ada 3 bendung, besarnya **3,62** Mton/tahun dan pada kondisi ada bendung serta penghutanan kembali, besarnya **1,23** Mton/tahun.

6 REFERENSI

1. Aljosja Hooijer, Marcel Silvius, Henk Wösten, Susan Page, 2006, *Peat CO₂, Assessment of CO₂ emissions from drained peatlands in SE Asia*.
2. A. Hooijer¹, S. Page², J. Jauhiainen³, W. A. Lee⁴, X. X. Lu⁵, A. Idris⁶, and G. Anshari⁷, 2012, *Subsidence and Carbon Loss in Drained Tropical Peatlands, Biogeosciences Paper*.
3. Al Hooijer¹, Budi Triadi², Oka Karyanto³, Sue Page⁴, Marnix Van der Vat¹ and Gilles Erkens¹, 2012, *Subsidence in Drained Coastal Peatlands in Se Asia: Implications for Sustainability*, IPS Paper.
4. Driessen, P. M. and Soepraptohardjo, M.: *Soils for Agricultural Expansion in Indonesia*, Publication of Soil Research Institute, Bull. 1, Bogor, Indonesia,

41–63, 1974.

5. K. Tansey, J. Beston, A. Hoscilo, S. E. Page, C. U. Paredes Hernández, *Relationship between MODIS Fire Hot Spot Count and Burned Area in a Degraded Tropical Peat Swamp Forest in Central Kalimantan, Indonesia*, *Journal of Geophysical Research: Atmospheres* (1984–2012), [Volume 113, Issue D23](#), December 2008.
6. *Kalimantan Forests and Climate Partnership*, 2009, *Strategic Peatland Rehabilitation Plan for Block A (North-West) in the Ex-Mega Rice Project Area, Central Kalimantan*.
7. Kementerian Negara Lingkungan Hidup, 2010, *Profil Ekosistem Gambut di Indonesia*.
8. Susan E. Page, John O. Rieley W and Christopher J. Banks, 2011, *Global and Regional Importance of the Tropical Peatland Carbon Pool, Global Change Biology Paper*.

7 ANNEX

7.1 Annex 1

Data LiDAR diperoleh dari Deltares/KFCP berdasarkan pengukuran yang dilakukan pada bulan Agustus sampai dengan bulan Oktober 2011 saat musim kemarau.

Data kedalaman gambut diperoleh dari beberapa sumber sebagai berikut:

- CKPP (2005, 2007),
- KFCP (2011),
- Balai Rawa (2011–2012),
- Puslitanak (1992).

Nilai *Bulk Density* bervariasi terhadap kedalaman gambut, dalam workshop ini diambil nilai sebagai berikut:

- Gambut kedalaman 0 – 2 m, nilai BD = 0,15 gr/cm³
- Gambut kedalaman 2 – 4 m, nilai BD = 0,10 gr/cm³
- Gambut kedalaman >4 m, nilai BD = 0,07 gr/cm³

Nilai ini diperoleh dari Hooijer et al., 2012a.

Sementara itu, nilai kandungan karbon pada umumnya diambil sebesar 50% - 60% atau rata-rata sebesar 55%. Nilai ini umum digunakan (dari literatur) pada kondisi gambut fibrik dan hemik dengan kandungan mineral rendah (Hooijer et al., 2012a).

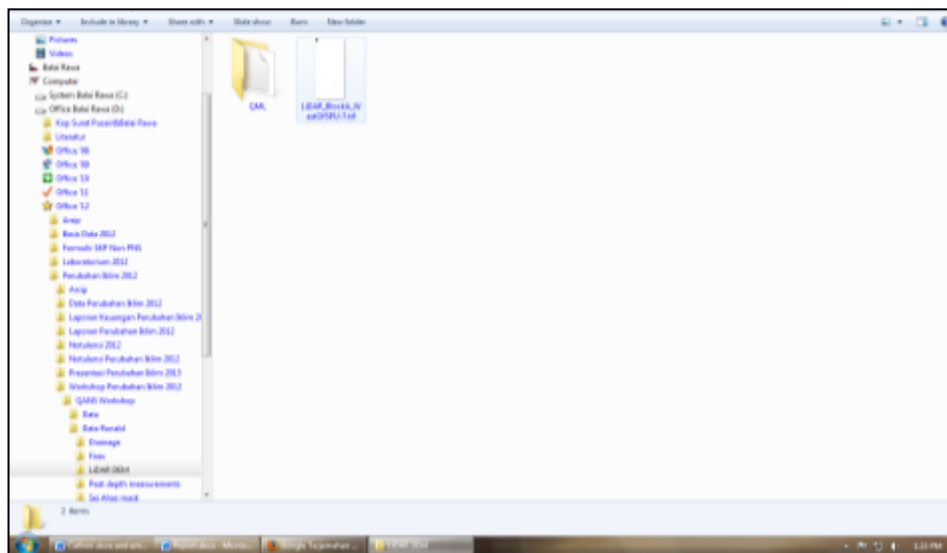
7.2 Annex 2 (Lihat File Annex 2)

1. METODOLOGI

Proses pemodelan untuk perhitungan kandungan gambut, tingkat penurunan lahan serta emisi karbon dilakukan dengan menggunakan aplikasi sistem informasi geografis dalam hal ini *software* yang digunakan adalah Quantum GIS Desktop karena bersifat *open source*.

Berikut ini merupakan tahapan kegiatan pemodelan gambut dengan menggunakan Quantum GIS 1.8 (<http://www.qgis.org/>)

1. Untuk langkah pertama yang harus dipersiapkan adalah peta elevasi lokasi studi di Sei. Ahas yang sudah dilengkapi dengan *layout* saluran dengan detail elevasi permukaan lahan serta elevasi air pada saluran. Peta elevasi untuk Sei. Ahas ditampilkan dalam bentuk *raster* dengan resolusi *spatial* 100 m (format file .tif) sebagai *layer* pertama dalam pemodelan ini;



Gambar 1.1 Contoh file peta elevasi Sei. Ahas

Untuk file *layout* Sungai Kapuas dan saluran-saluran Sei. Ahas dengan menggunakan nama file “polygon-river-KalTeng-utm50S” dengan format file .shp; .shx; .sbx; .sbn; .prj; dan .dbf.

2. Data kedua yang harus disiapkan juga adalah data sebaran kedalaman gambut

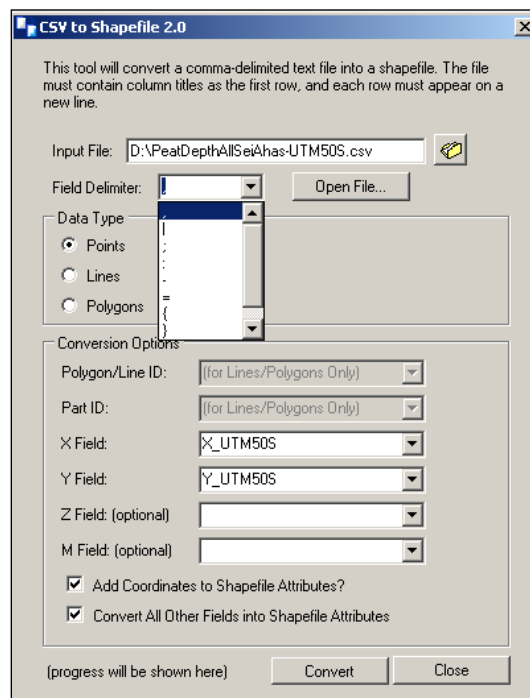
Untuk data sebaran kedalaman gambut sendiri berupa data yang berisi berupa data koordinat (x – *easting*, y – *northing*) dan data kedalaman gambut. Koordinat data ini harus sama kedalam zona dengan koordinat peta elevasi yang dimiliki. Dalam studi ini data ada pengurangan data, yaitu data CKPP

dihilangkan karena data CKPP memiliki kecenderungan ketebalan gambutnya lebih besar dibandingkan data dari KFCP, PUSAIR dan PUSLITANAK.

ID	DATE	LATITUDE	LONGITUDE	PLATITUDE	SOURCE	PLATITUDE	NAME
81	30-Aug-07	3.47380	114.48830	8	peat_all_sei_P500-CKP-utM505.shp	0.5	09_10277_0113
82	30-Aug-07	3.46797	114.45712	1.5	peat_all_sei_P500-CKP-utM505.shp	1.740	09_10214_0113
83	30-Aug-07	3.46998	114.47820	2	peat_all_sei_P500-CKP-utM505.shp	2.346	09_10182_0093
84	22-Aug-07	3.43159	114.39970	10.15	peat_all_sei_P500-CKP-utM505.shp	0	04_10304_1005
87	5-Sep	-3.4002222	114.5000000	8	peat_CKP-utM505.shp	0	09_10670_0178
88	5-Sep	-3.3998888	114.5015000	7.5	peat_CKP-utM505.shp	0	09_10413_7600
89	5-Sep	-3.3912778	114.5011344	7.5	peat_CKP-utM505.shp	0	09_11000_0050
90	5-Sep	-3.3910000	114.5000000	7.5	peat_CKP-utM505.shp	0	09_11000_0400
91	5-Sep	-3.3975122	114.5018000	8	peat_CKP-utM505.shp	0	09_12007_2120
92	5-Sep	-3.3917778	114.504	7.5	peat_CKP-utM505.shp	0	09_12100_0000
93	5-Sep	-3.3918444	114.5040000	8	peat_CKP-utM505.shp	0	09_12100_1300
94	5-Sep	-3.3867222	114.49800	8	peat_CKP-utM505.shp	0	09_12101_0000
95	5-Sep	-3.3920111	114.4975122	8.5	peat_CKP-utM505.shp	0	09_12100_2000
96	5-Sep	-3.3918000	114.4980000	7.5	peat_CKP-utM505.shp	0	09_12104_0170
97	5-Sep	-3.3918111	114.4980000	2	peat_CKP-utM505.shp	0	04_10306_2004
98	5-Sep	-3.3913889	114.4918000	8	peat_CKP-utM505.shp	0	09_12001_7000
99	5-Sep	-3.3798889	114.4908111	0.5	peat_CKP-utM505.shp	0	04_10375_3300
100	5-Sep	-3.3903000	114.4917778	0.5	peat_CKP-utM505.shp	0	09_11719_0000
101	5-Sep	-3.3902778	114.4907222	3.5	peat_CKP-utM505.shp	0	04_10308_2120
102	5-Sep	-3.3913000	114.4913000	4.5	peat_CKP-utM505.shp	0	09_12470_0170
103	5-Sep	-3.3908122	114.4913111	3	peat_CKP-utM505.shp	0	04_10304_0114
104	5-Sep	-3.3922778	114.4910000	8	peat_CKP-utM505.shp	0	09_12100_1300
105	5-Sep	-3.37800	114.4977778	7.5	peat_CKP-utM505.shp	0	09_12100_2000
106	5-Sep	-3.3849000	114.4917222	4.5	peat_CKP-utM505.shp	0	09_12101_0114
107	10-Nov-07	-3.39111	114.49200	3.5	peat_CKP-utM505.shp	0	06_12700_1300
108	10-Nov-07	-3.33300	114.49000	3.0	peat_CKP-utM505.shp	0	09_12002_0000
109	10-Nov-07	-3.33000	114.49150	3.0	peat_CKP-utM505.shp	0	06_12104_0114
110	10-Nov-07	-3.38550	114.49130	8	peat_CKP-utM505.shp	0	06_12101_0114
111	10-Nov-07	-3.38000	114.49200	7.25	peat_CKP-utM505.shp	0	06_12001_0000
112	10-Nov-07	-3.38100	114.49170	7.00	peat_CKP-utM505.shp	0	09_12000_1000
113	10-Nov-07	-3.38100	114.49150	7.00	peat_CKP-utM505.shp	0	09_12000_1000

Gambar 1.2 Data Sebaran Gambut di Sei. Ahas dalam fotmat file .csv

Data sebaran gambut yang dimodelkan harus dalam format *shape file* dengan titik referensi koordinat yang sama dengan layout sungai dan saluran. Untuk contoh diatas data sebaran gambut harus dikonversikan ke dalam format *shape file* dengan menggunakan perangkat lunak CSV2SHP software (http://www.mapwindow.org/downloads/index.php?show_details=30). Untuk jelasnya, lihat gambar di bawah.

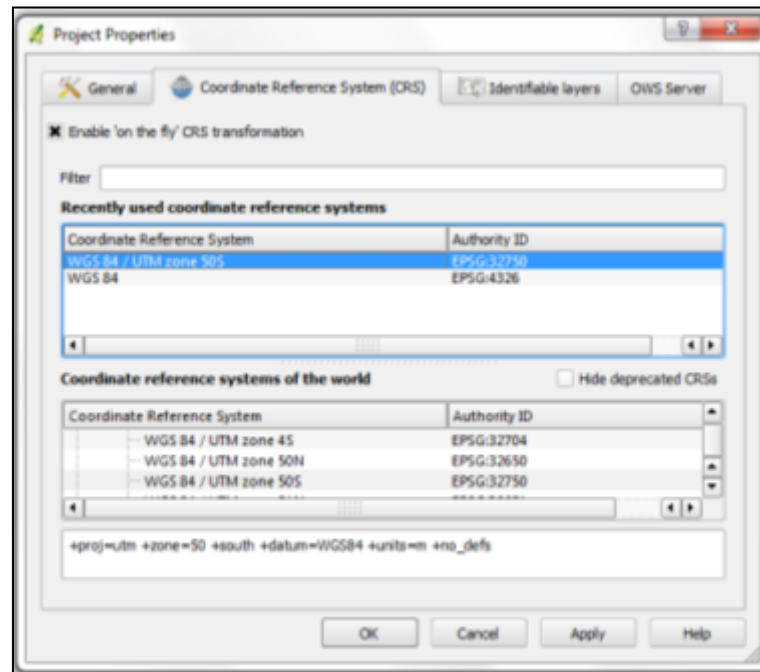


Gambar 1.3 Konversi file .csv ke dalam format *shape file* dengan CSV2SHP Software

3. *Setting Project, Sistem Koordinat Referensi (Coordinate Reference System)*

Aplikasi sistem informasi geografis dalam hal ini *software* yang digunakan adalah Quantum GIS Desktop versi 1.8. Untuk pemodelan ini digunakan *coordinate reference system* yaitu WGS 84 / UTM, dan untuk lokasi studi Sei. Ahas berada didalam zona 50S.

Langkah awal buka menu “*Settings*” > Klik “*Project properties*” > Klik “*Coordinate Reference System (CSR)*”, Ikuti Gambar:

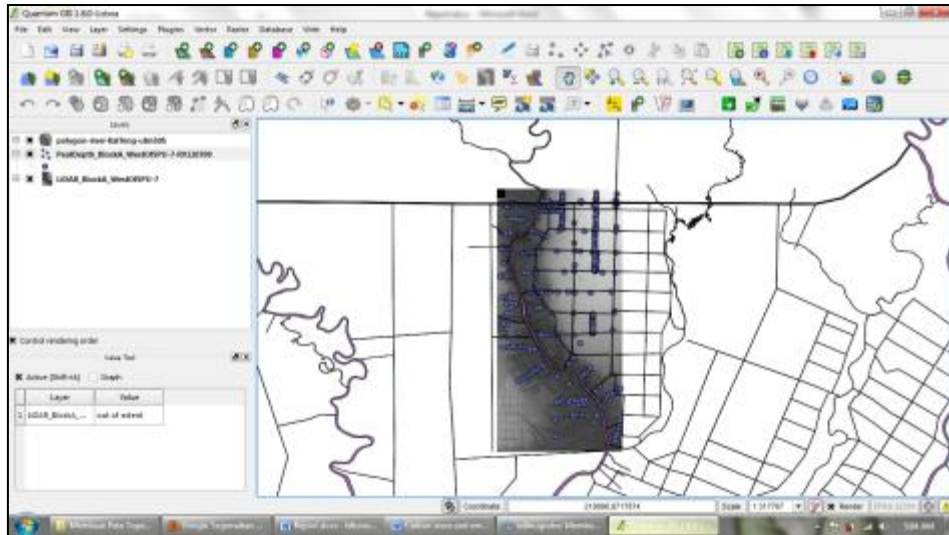


Gambar 1.4 “*Project properties*” pada Quantum GIS Desktop versi 1.8

Klik *Enable ‘On The Fly’ CRS Transformation* > sesuaikan zona pada *Coordinate Reference System* > pilih “WGS 84 / UTM 50S” > setelah itu klik OK. Maka pada layar QGIS 1.4 sudah masuk di zona WGS 84 / UTM 50S.

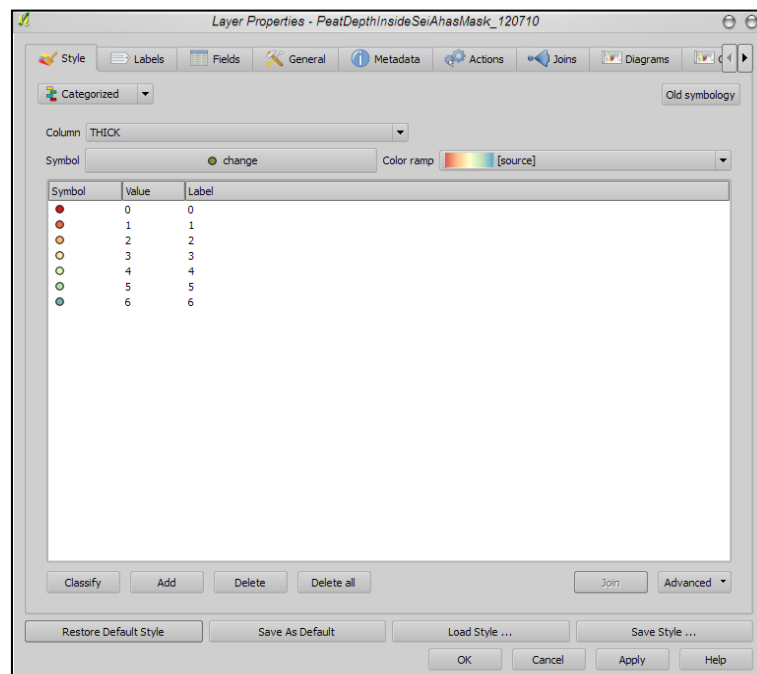
4. Proses klasifikasi data sebaran ketebalan gambut

Langkah pertama adalah buka data yang telah disiapkan baik melalui “*Add vector layer*” maupun melalui “*Add Raster Layer*” pada QGIS 1.8. Lihat gambar di bawah adalah peta elevasi, layout sungai dan saluran serta data sebaran kedalaman gambut di Sei. Ahas yang telah ditampilkan pada QGIS 1.8.

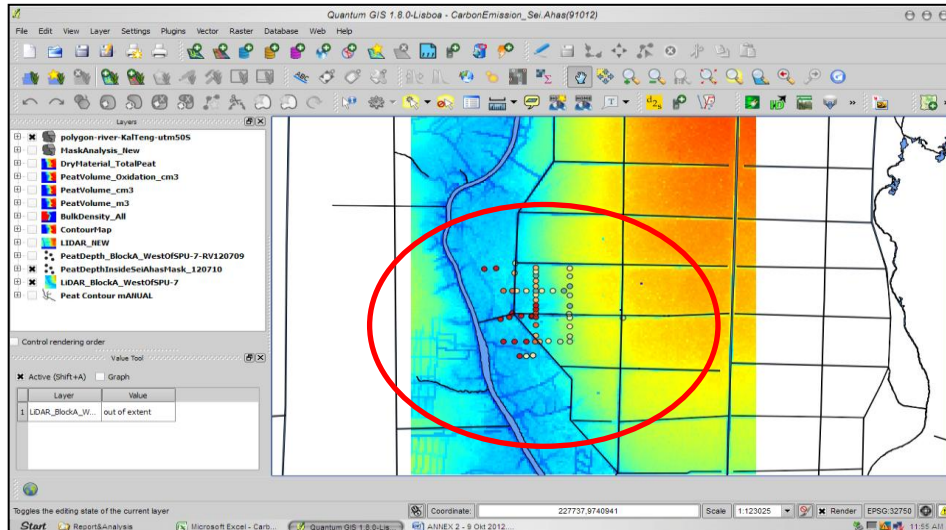


Gambar 1.5 Contoh data yang ditampilkan pada QGIS 1.8

Setelah semua data kedalaman gambut ditampilkan pada QGIS 1.8, anda dapat membuat klasifikasi berdasarkan kelas ketebalan gambut. Caranya adalah klik kanan layers data kedalaman gambut > *Properties* > *Style* > ganti “*Single Symbol*” dengan “*Categorized*” > pada “*Column*” cari kategori yang disesuaikan (kategori kelas ketebalan gambut/*peat class*) > lalu klik “*Classify*”. Lihat gambar dibawah ini.



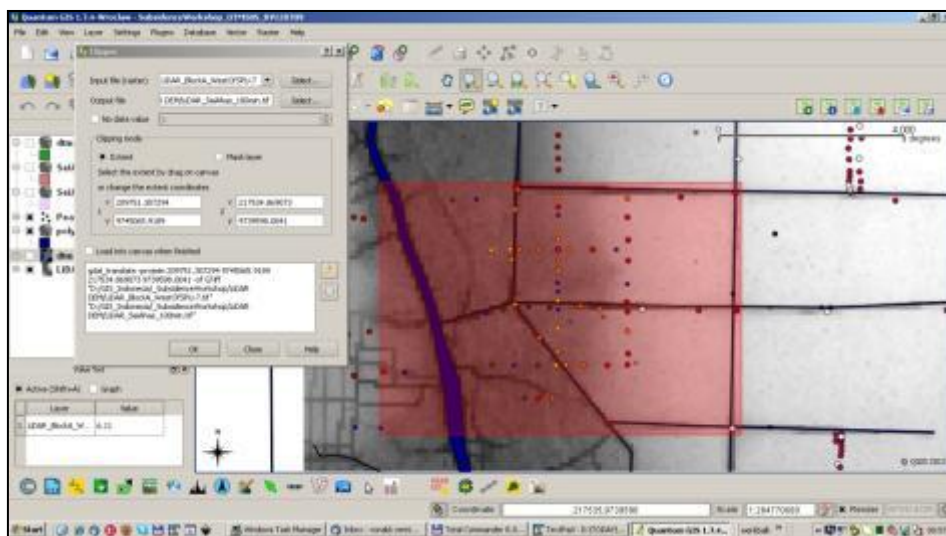
Gambar 1.6 “*Layer properties*” dalam pembuatan klasifikasi ketebalan gambut



Gambar 1.7 Contoh data ketebalan gambut telah diklasifikasikan

5. Membatasi peta elevasi berdasarkan wilayah lokasi studi

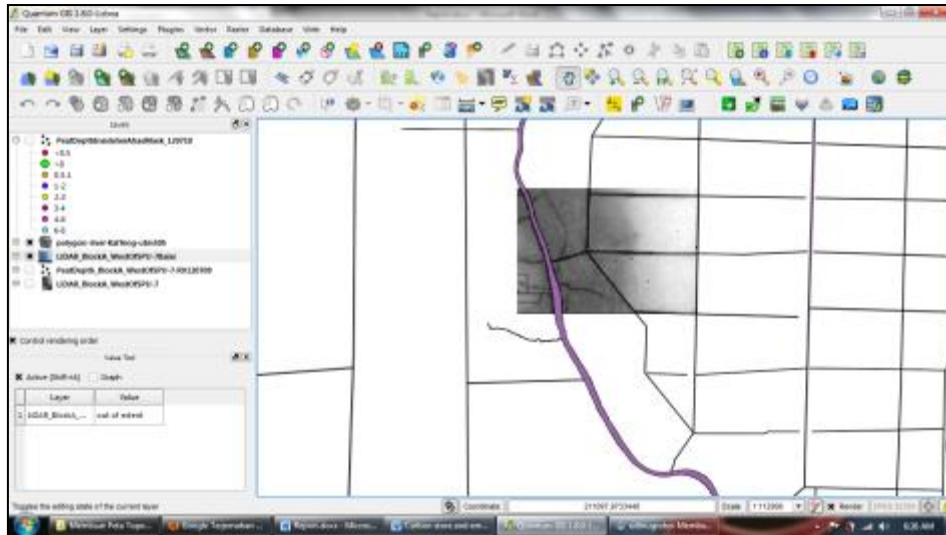
Dalam proses ini digunakan "*Raster Clipper*" dalam membatasi wilayah pada peta elevasi. Lihat gambar di bawah ini.



Gambar 1.8 Proses dalam penggunaan "*raster clipper*"

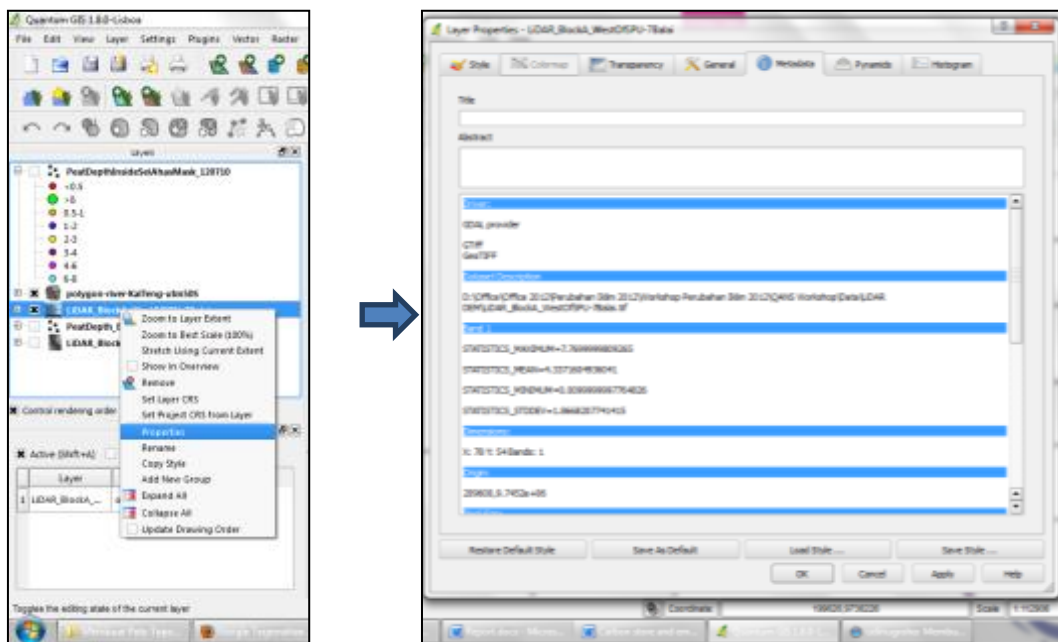
Klik menu "*Raster*" > *Extraction* > *Clipper* > klik "*Select*" pada "*Output Files*" yang berfungsi untuk menentukan tempat penyimpanan file peta elevasi yang

akan dibatasi > klik tombol  untuk menentukan wilayah yang akan dibatasi > OK > *Close*.



Gambar 1.9 Contoh peta elevasi yang telah dibatasi

Spesifikasi peta elevasi yang telah dibuat tadi dapat diketahui dengan cara berikut ini:



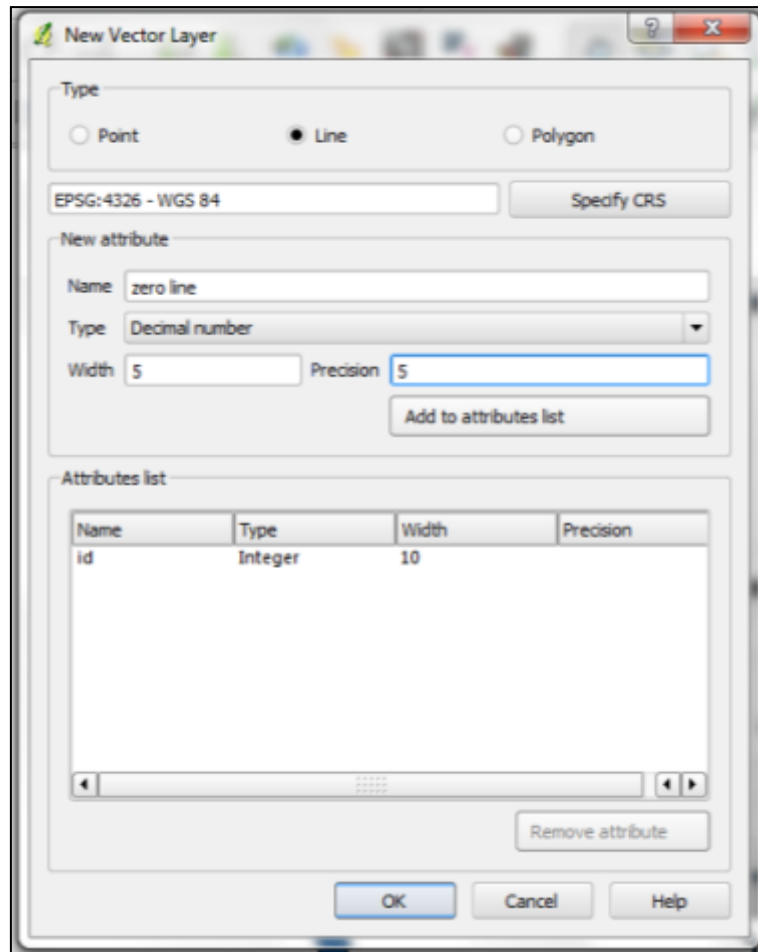
Gambar 1.10 Cara mengetahui spesifikasi peta elevasi

Berdasarkan cara di atas diketahui bahwa:

- Cell size: 100 m
- X min: 209500
- Y min: 9739500
- X max: 217700
- Y max: 974200

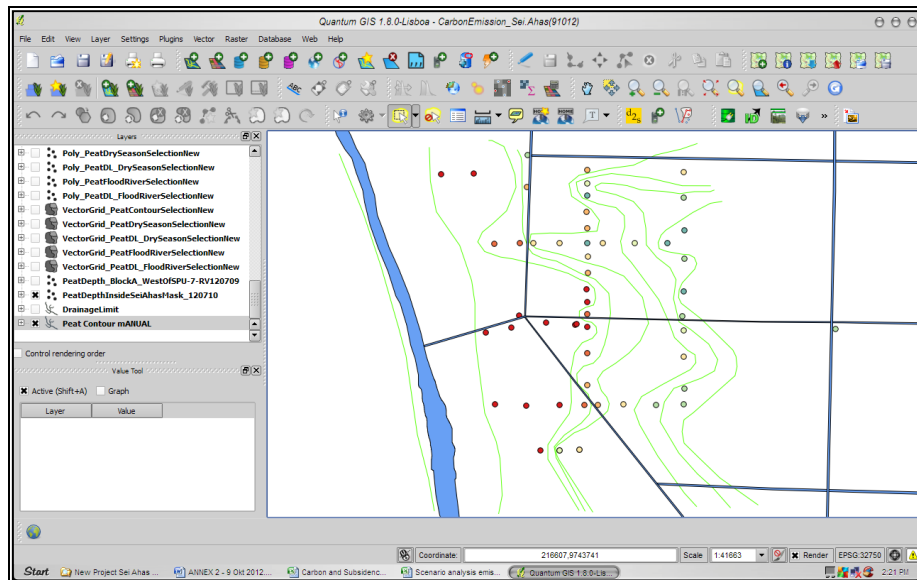
6. Proses interpolasi peta ketebalan gambut keseluruhan/*Peat Total Map*

Buatlah kontur ketebalan gambut berdasarkan dengan klasifikasi kedalaman gambut yang telah dibuat secara manual berupa *line*. *Layer > New > New Shapefile Layer...* > setelah itu akan muncul “*New Vector Layer*”, perhatikan gambar dan *setting* di bawah ini.



Gambar 1.11 *Setting layer* kontur gambut 0 m

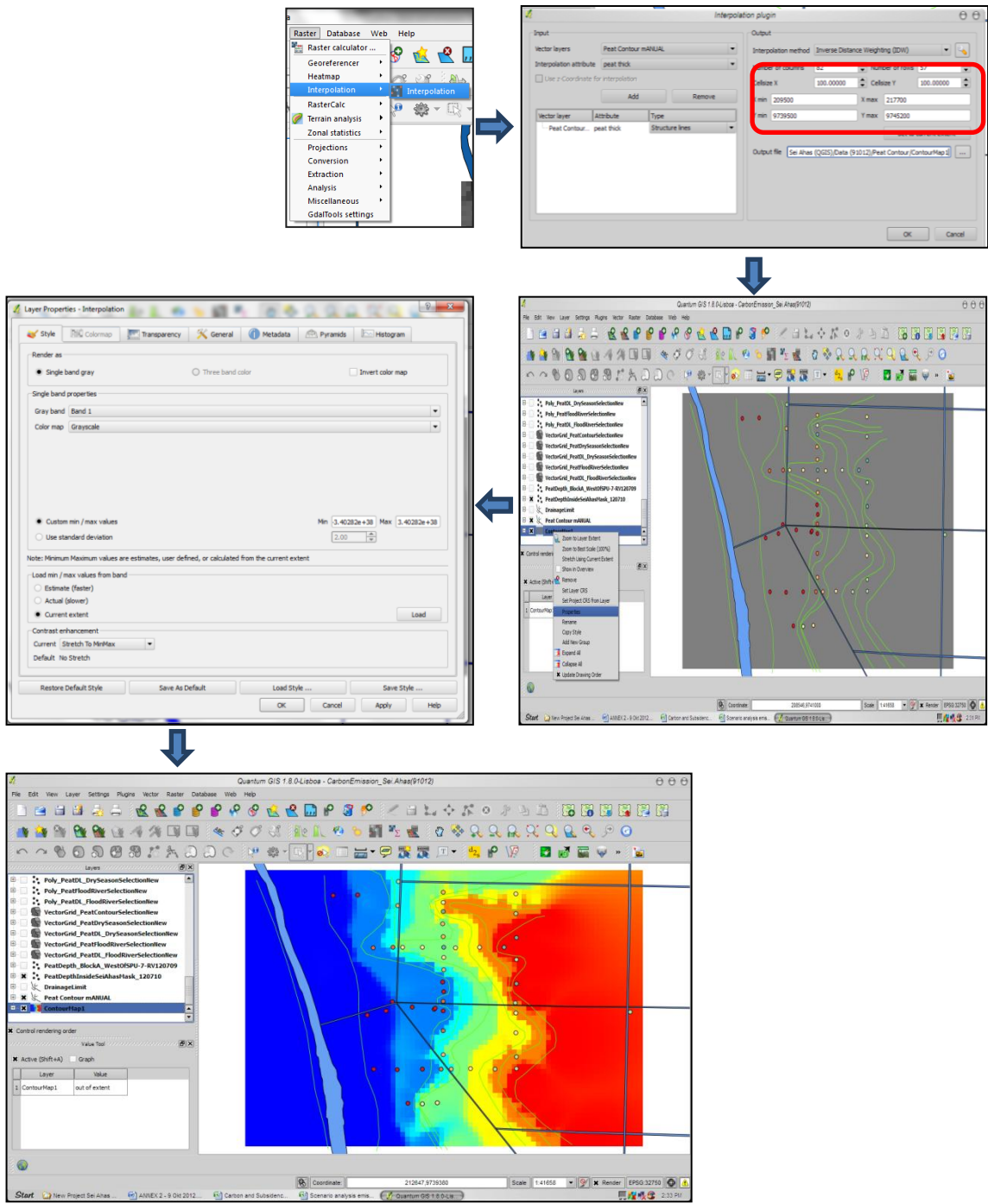
Lalu klik “*Toggle Editing*” > *Add Feature*, buatlah kontur yang diinginkan > *Save* > klik kembali “*Toggle Editing*”. Lihat gambar di bawah kontur yang telah selesai dibuat.



Gambar 1.12 Kontur klasifikasi ketebalan gambut

Langkah berikutnya menginterpolasi antara kontur ketebalan gambut yang diklasifikasikan dengan Peta LIDAR untuk membentuk Peta Ketebalan Gambut sesuai dengan klasifikasi yang telah dibuat sebelumnya.

Klik menu “*Raster*” > *Interpolation* > *Interpolation* > pilih data yang akan diinterpolasi, lalu perhatikan kotak berwarna merah pada gambar di bawah - data isian harus sesuai dengan spesifikasi dengan peta elevasi (lihat kembali langkah 5) > OK > Klik kanan *layer* hasil interpolasi pilih “*Properties*” > *setting* sesuaikan dengan gambar di bawah, lalu klik “*Load*” > klik “*Color Map*” pilih “*Pseudocolor*” > OK. Untuk lebih jelas perhatikan gambar dibawah ini.



Gambar 1.13 Langkah-langkah interpolasi pembuatan peta ketebalan gambut keseluruhan/peat extent map

7. Proses pembuatan peta elevasi dasar gambut/Peat Bottom Map

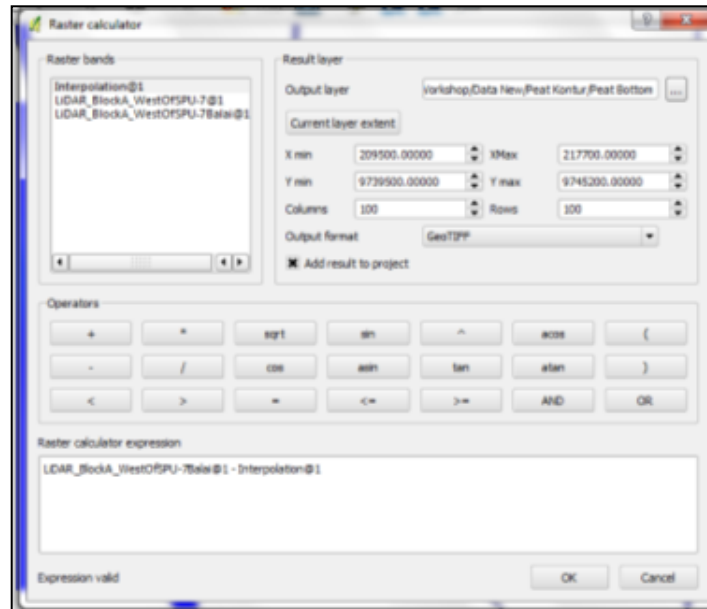
Sekarang sudah dipunyai data, yaitu:

- a. Peta elevasi permukaan gambut di Desa Sei. Ahas (peta elevasi),
- b. Peta ketebalan gambut hasil interpolasi (peta ketebalan gambut).

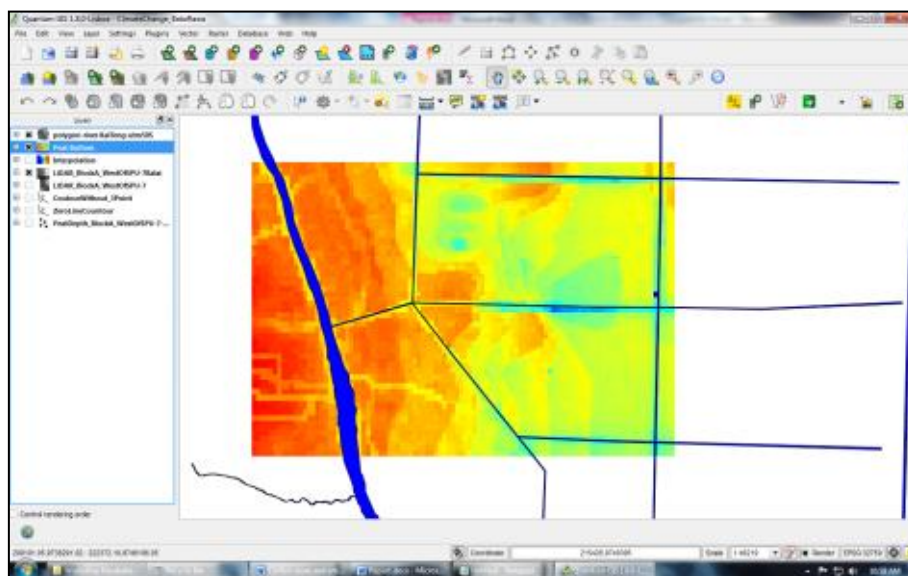
Pada prinsipnya elevasi dasar gambut diperoleh dari hasil pengurangan antara data elevasi atas permukaan gambut (peta elevasi) dengan data ketebalan

gambut (peta ketebalan gambut). Pada QGIS 1.8 dapat dilakukan perhitungan tersebut dengan menggunakan peta elevasi dan peta ketebalan gambut yang di olah di atas, yaitu:

Klik menu “*Raster*” > *Raster Calculator* > lalu lihat pada “*Raster Bands*”, pilih *raster* peta elevasi untuk dikurangi dengan *raster* Peta ketebalan Gambut > OK.



Gambar 1.14 Setting “*Raster Calculator*”

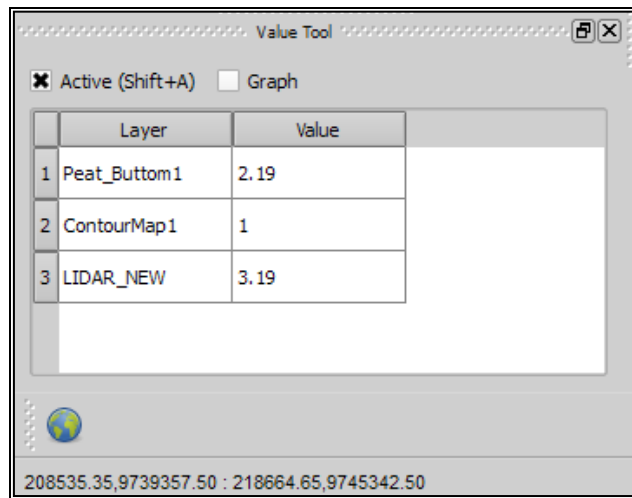


Gambar 1.15 *Peat bottom map*

Sampai pada tahapan ini sudah dipunyai data sebagai berikut:

- a. Peta Elevasi Permukaan Gambut (*peat surface elevation map*);
- b. Peta Ketebalan Gambut (*peat thickness map*)
- c. Peta Elevasi Dasar Gambut (*peat bottom map*).

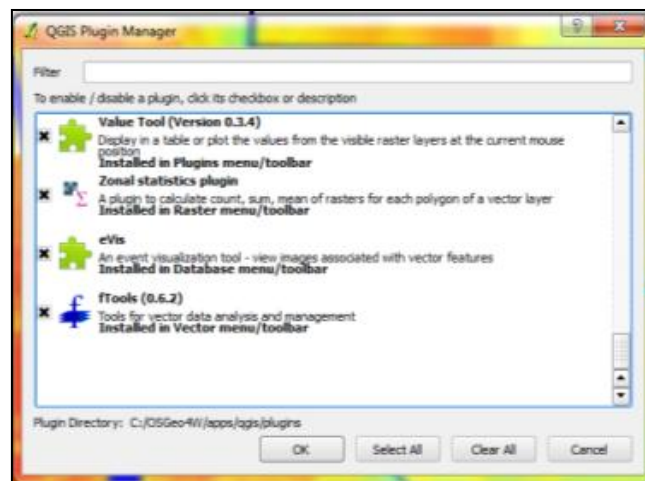
Perbandingan antara ketiga data tersebut dapat dilihat pada *plugins* “*Value Tool*”.



	Layer	Value
1	Peat_Bottom1	2.19
2	ContourMap1	1
3	LIDAR_NEW	3.19

Gambar 1.16 Data yg ditampilkan pada *plugins* “*Value Tool*”

Apabila pada *plugins* QGIS anda tidak ada menampilkan “*Value Tool*”, maka anda dapat mengaktifkannya, yaitu: *Plugins* > *Manage Plugin* > cari dan klik “*Value Tool*” > OK. Untuk QGIS yang tidak punya *plugins* ini bisa di download di <http://plugins.qgis.org/plugins/plugins.xml> melalui “*Plugins*” > *Fetch Python Plugins*

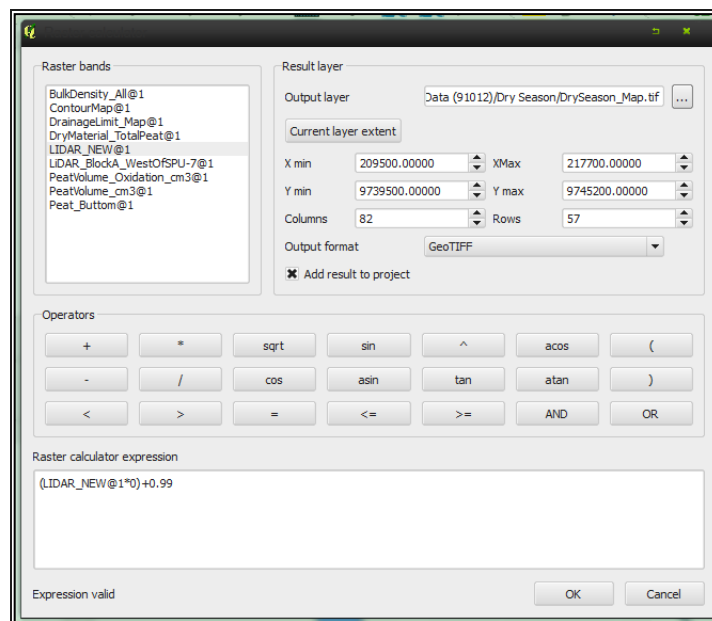


Gambar 1.17 “*Manage Plugin*” untuk mengaktifkan “*Value Tool*”

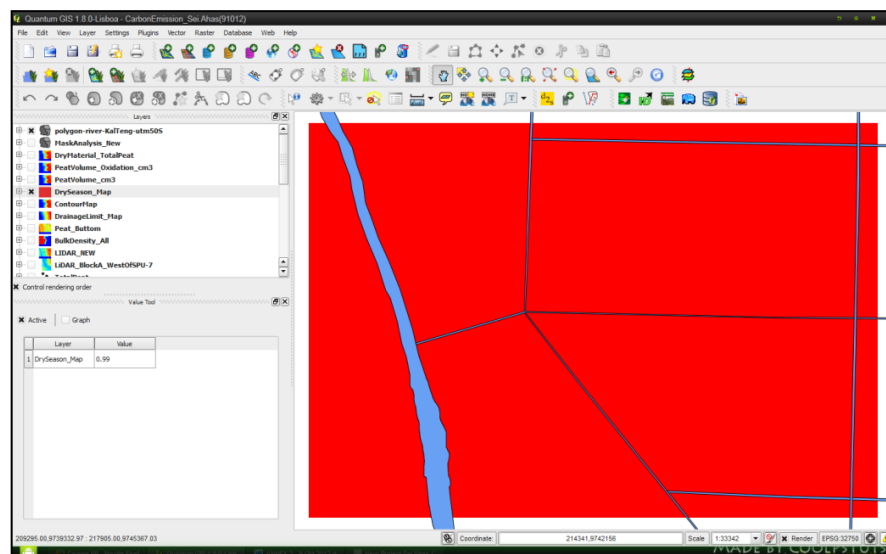
8. Proses pembuatan Peta Ketebalan Gambut Di Atas Muka Air Sungai Musim Kering/*Peat Thickness Map above Dry Season River Level*

Dalam studi ini diketahui bahwa elevasi muka air saat musim kering pada Sungai Kapuas adalah 0.99 m. Hal ini berdasarkan dari hasil rerata data pengamatan muka air di muara saluran lokasi studi baik pada waktu *neap tides* (1-2 Oktober 2012) maupun pada *spring tides* (8-9 Oktober 2012) yang bertepatan pada musim kering. Berikut langkah-langkah pembuatan petanya:

- Klik menu “*Raster*” > *Raster Calculator*
- Perhatikan contoh *setting* perhitungannya di bawah ini > OK



Gambar 1.18 Contoh *setting* “*Raster Calculator*” untuk mendapatkan *Dry Season River Elevation Map*

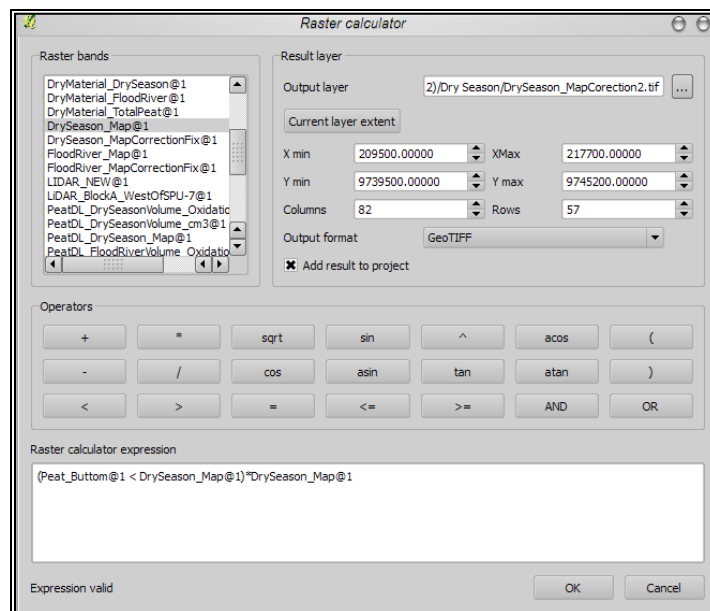


Gambar 1.19 *Dry season elevation map*

- Peta *dry season river elevation* sendiri harus dikombinasikan dengan *peat bottom map* untuk mendapatkan *dry season river elevation correction map*. Hal ini dimaksudkan untuk mendapatkan ketinggian *peat bottom* yang mungkin akan teroksidasi. Apabila *peat bottom* dibawah *dry season river elevation* maka bagian yang dibawah *dry season river elevation* tidak akan teroksidasi. Namun untuk gambut di atas *dry season river elevation* akan teroksidasi. Untuk mendapatkannya dilakukan dua kali perhitungan dengan menggunakan *raster calculator*. Berikut contoh perhitungannya:

1. Elevasi *peat bottom* berada di bawah elevasi *dry season river elevation*

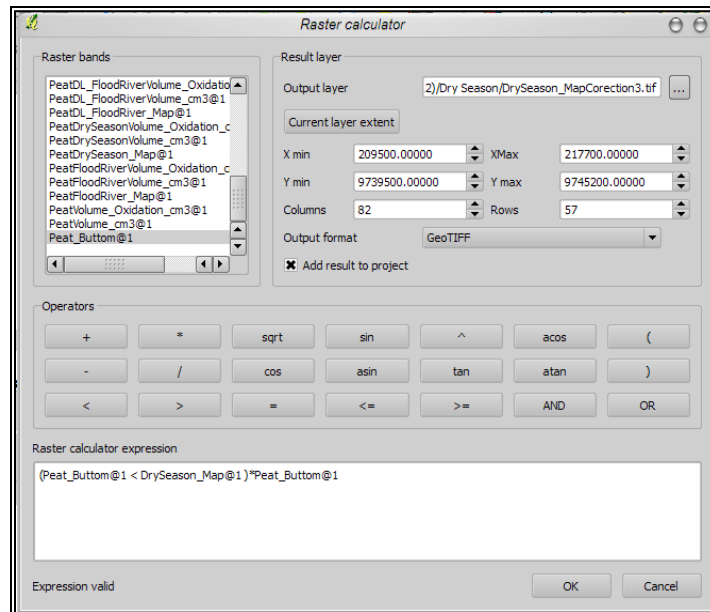
Klik menu “*Raster*” > *Raster Calculator...* > lalu ketik “ $(\text{peat bottom map} < \text{dry season elevation map}) * \text{dry season river elevation map}$ ” > OK. Lihat contohnya di bawah ini:



Gambar 1.20 Contoh penggunaan “*Raster Calculator*”

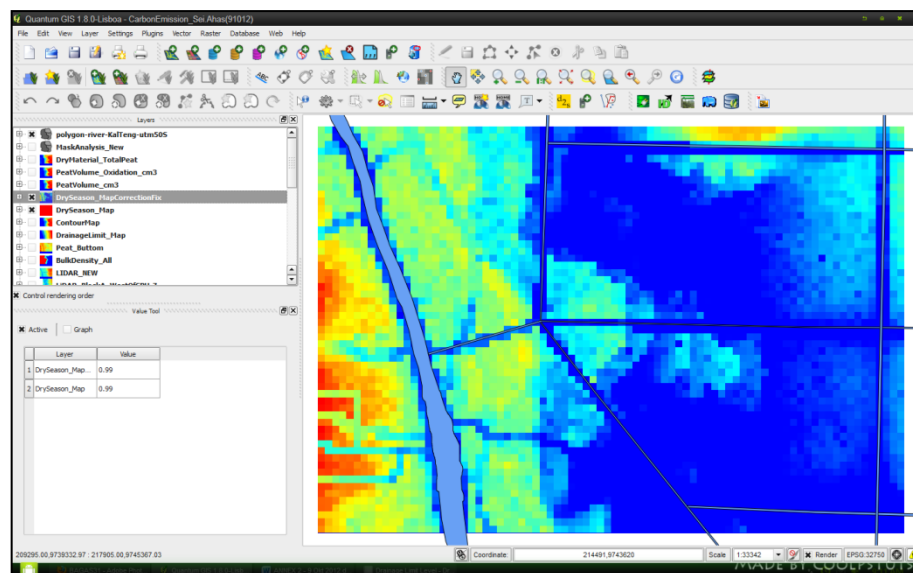
2. Elevasi *peat bottom* berada di atas elevasi *dry season river elevation*

Klik menu “*Raster*” > *Raster Calculator...* > lalu ketik “ $(\text{peat bottom map} > \text{dry season elevation map}) * \text{peat bottom map}$ ” > OK. Lihat contohnya di bawah ini:



Gambar 1.21 Contoh penggunaan “Raster Calculator”

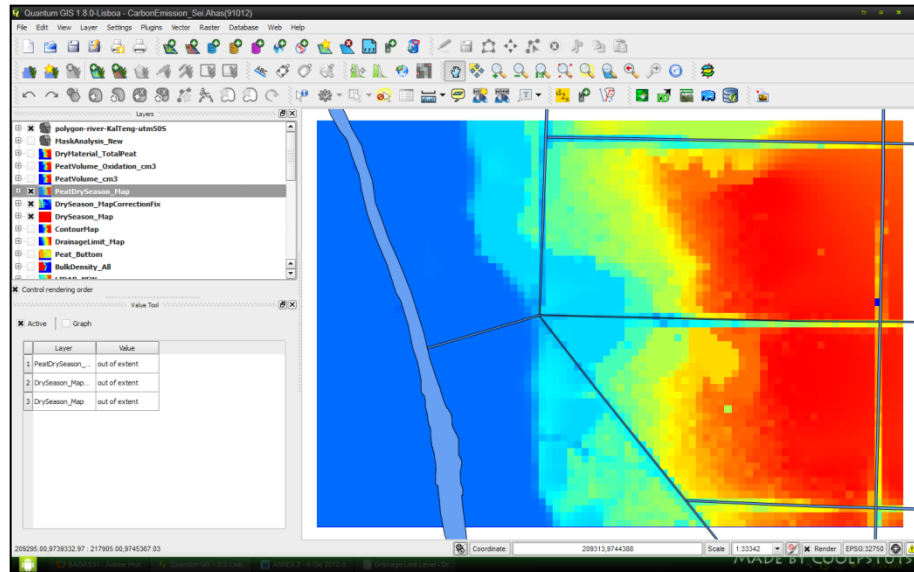
Dari hasil perhitungan tersebut akan menghasilkan dua buah peta, maka semua peta tersebut harus digabungkan dalam satu peta dengan cara menambahkan kedua peta tersebut dengan menggunakan “raster calculator”. Di bawah ini merupakan *dry season river elevation correction map* dari hasil pengabungan dua buah peta dari hasil perhitungan.



Gambar 1.22 *Dry season river elevation correction map*

- Buatlah peta ketebalan gambut di atas batas muka air musim kemarau/peat *thickness above dry season river level map* dengan cara pengurangan antara peta elevasi dan *dry season river elevation correction map* dengan

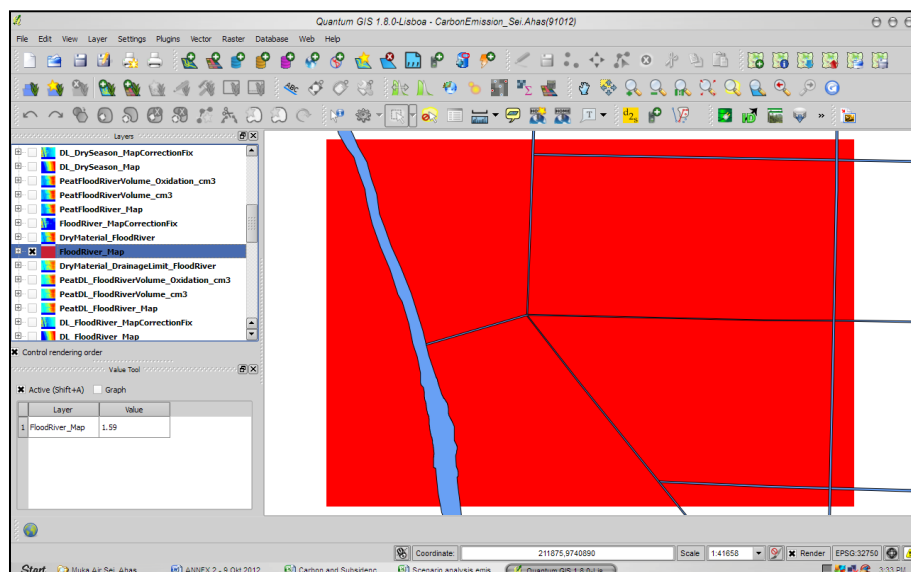
menggunakan *raster calculator* (lihat kembali tahapan pengerjaannya pada langkah 7).



Gambar 1.23 *Peat thickness above dry season river level map*

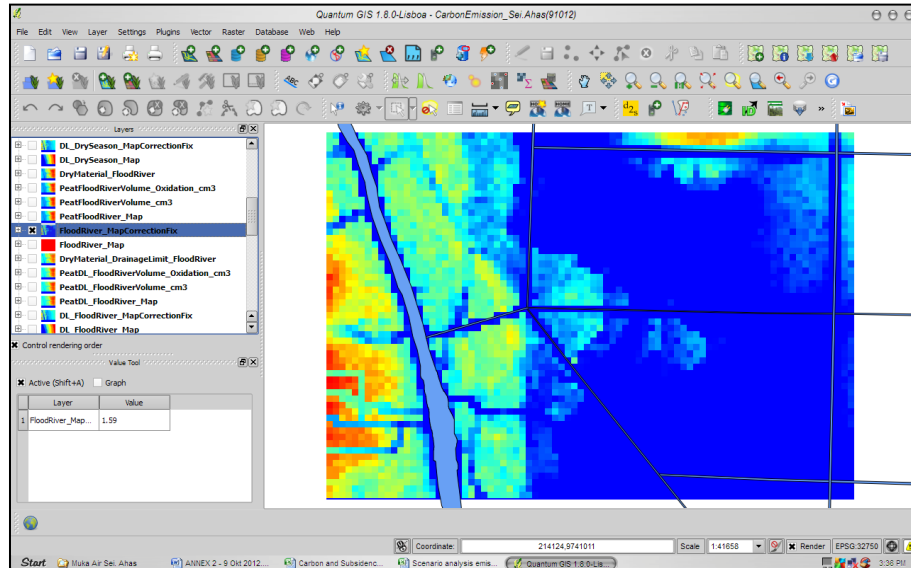
9. Proses pembuatan Peta Ketebalan Gambut Di Atas Muka Air Banjir Sungai/*Peat Thickness Map above Flood River Level*

Dalam studi ini diketahui bahwa pada saat banjir, elevasi tinggi muka air sebesar 1.59. Sama akan halnya pada musim kering, data ini diperoleh dari data hasil rerata pengamatan muka air lapangan baik pada waktu *neap tides* (31 Mei-1 Juni 2012) maupun pada *spring tides* (6-8 Juni 2012) yang bertepatan pada musim basah. Untuk langkah pembuatan peta elevasi pada saat banjir sama dengan langkah-langkah pengerjaan pembuatan peta pada musim kering (lihat kembali langkah 8). Berikut ini merupakan peta elevasi pada saat banjir:



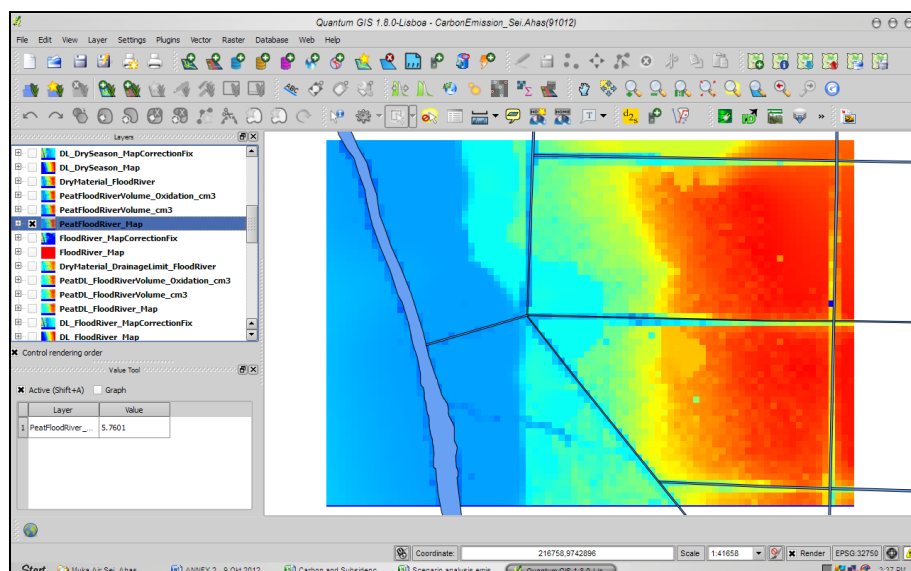
Gambar 1.24 Flood river elevation map

- Flood river elevation map sendiri harus dikombinasikan dengan peat bottom map untuk mendapatkan flood river elevation correction map (lihat kembali tahapan pengerjaannya pada langkah 8).



Gambar 1.25 Flood river elevation correction map

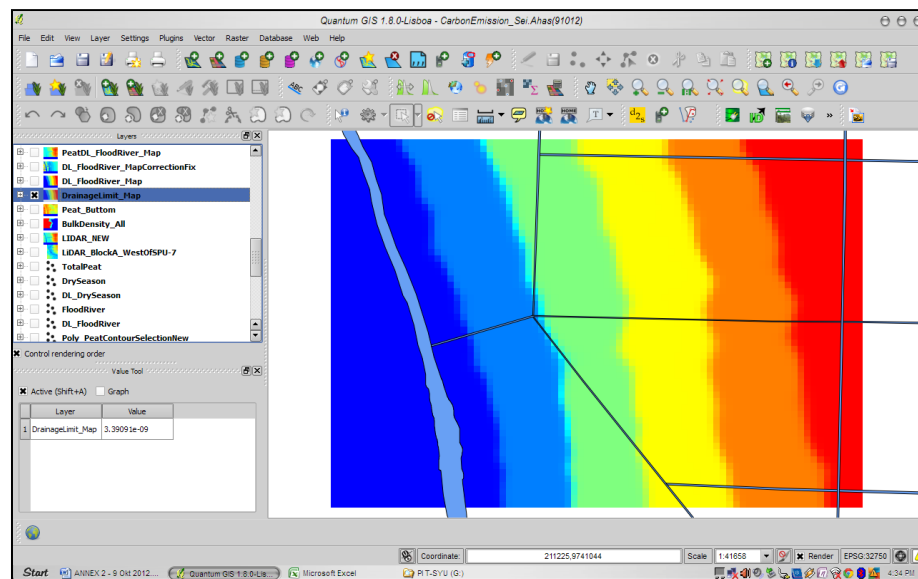
- Buatlah peta ketebalan gambut baik di atas batas muka air musim banjir/peat thickness above flood river level map (lihat kembali tahapan pengerjaannya pada langkah 7).



Gambar 1.26 Peat thickness above flood river level map

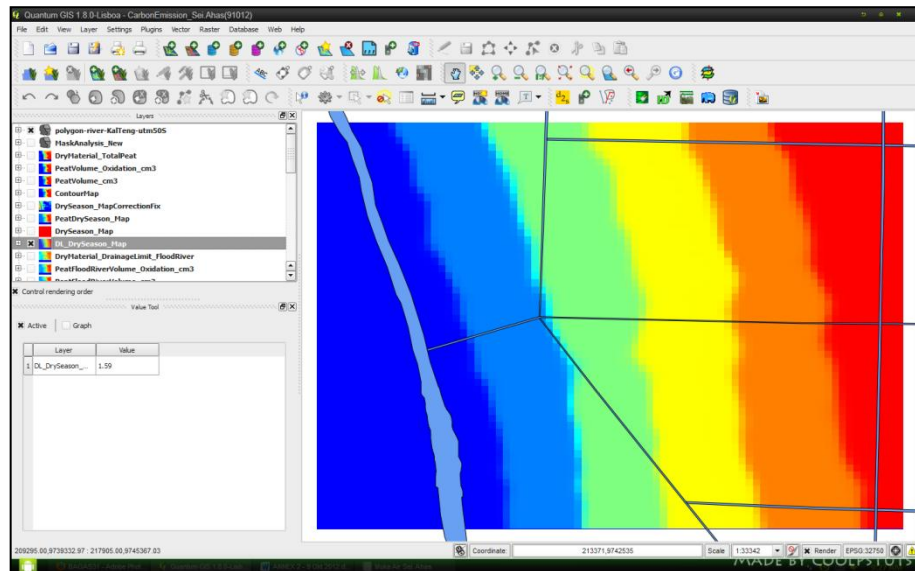
10. Proses Pembuatan Peta Ketebalan Gambut Di Atas Batas Drainase Muka Air Tanah Musim Kering/*Peat Thicknes Map Above Drainage Limit Dry Season*

- Dalam studi ini diasumsikan bahwa muka air mengalami kenaikan dari muara saluran menuju hulu saluran sebesar 20 cm/km;
- Buatlah kontur sebaran muka air dengan asumsi kenaikan muka air sebesar 20 cm/km (langkah pengerjaan lihat kembali langkah 6);
- Setelah itu interpolasi kontur sebaran muka air tersebut agar didapatkan peta sebaran batas muka air tanah/*drainage limit map* (langkah pengerjaan lihat kembali langkah 7);



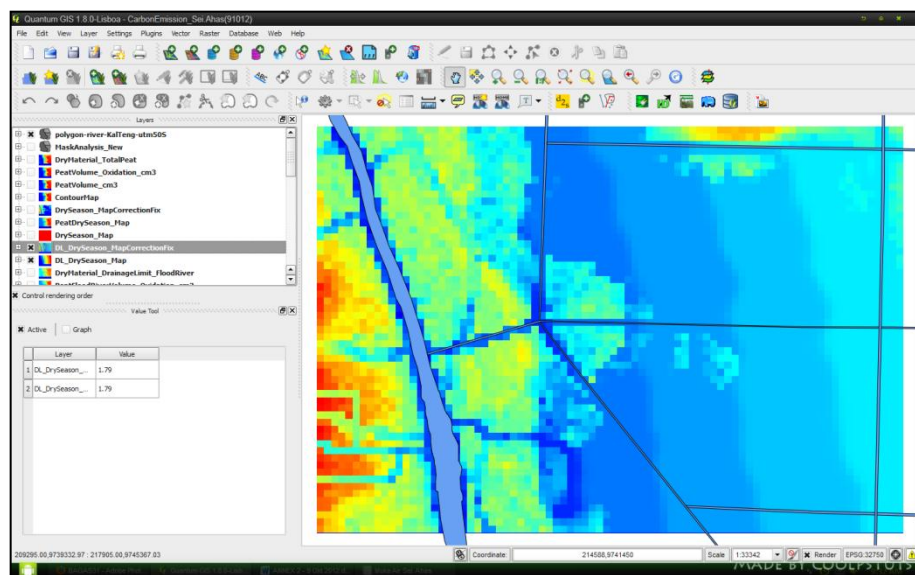
Gambar 1.27 *Drainage limit map*

- Untuk mendapatkan peta elevasi sebaran muka air tanah batas drainase musim kering/*dry season river drainage limit elevation_map* didapatkan dari hasil penambahan dari *dry season river elevation map* dengan peta sebaran muka air tanah batas drainase musim kering (langkah pengerjaan lihat kembali langkah 7);



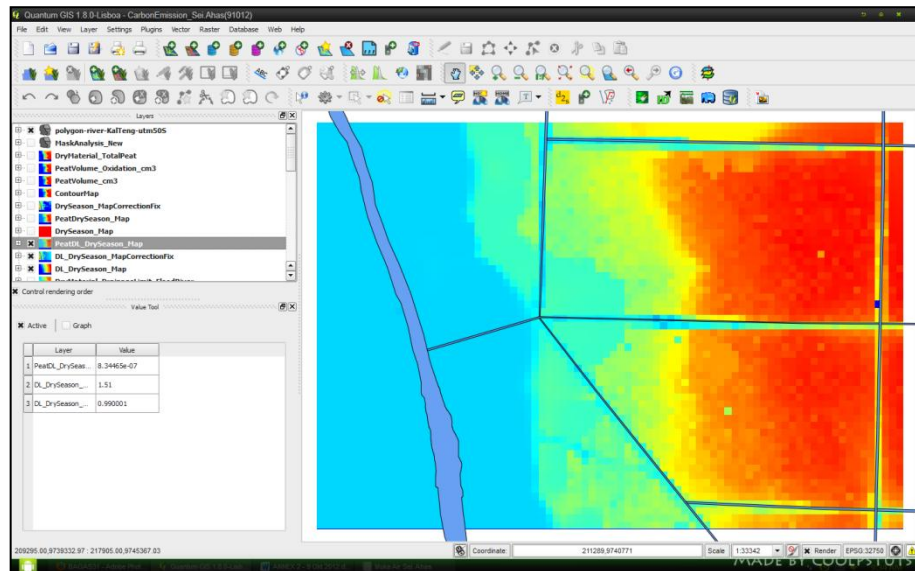
Gambar 1.28 Drainage limit elevation (dry season river) map

- Selanjutnya mengkombinasikan antara *peat bottom map* dengan Peta elevasi sebaran muka air tanah batas drainase musim kering (lihat kembali langkah 8).



Gambar 1.29 Drainage limit elevation (dry season river) correction map

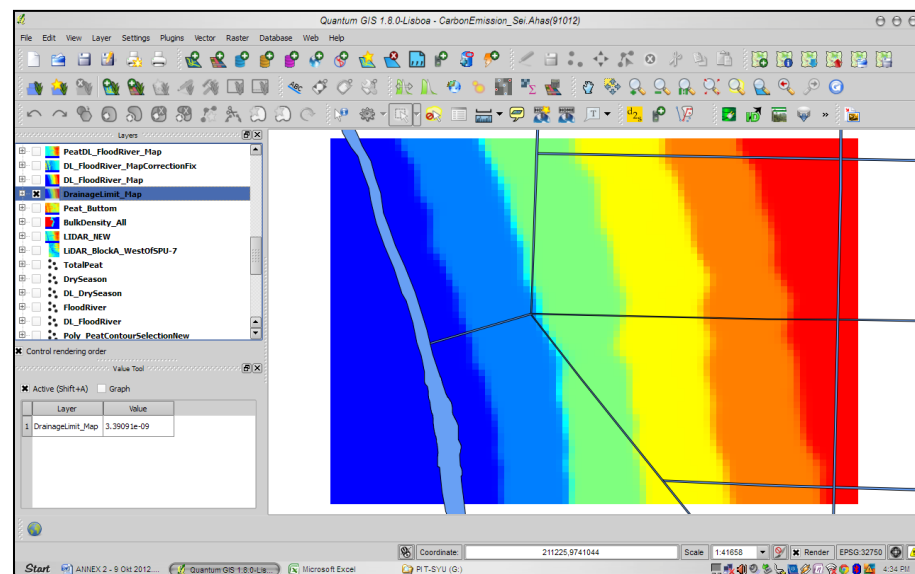
- Buatlah peta ketebalan gambut baik di atas batas sebaran muka air tanah/dry peat depth above drainage limit level (dry season river) map (lihat kembali tahapan pengerjaannya pada langkah 7).



Gambar 1.30 Dry peat depth above drainage limit level (dry season river) map

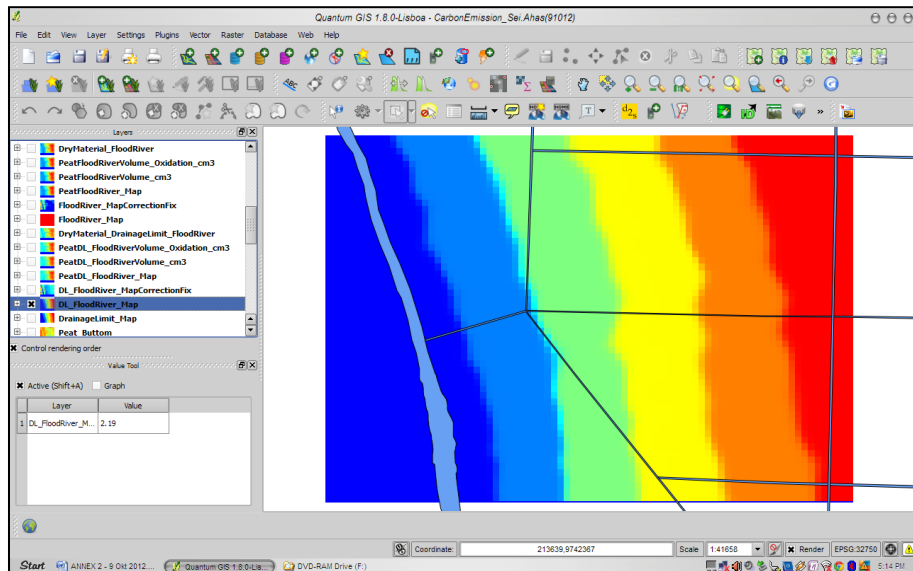
11. Proses Pembuatan Peta Ketebalan Gambut Di Atas Batas Drainase Musim Hujan (Banjir)/Peat Thicknes Map Above Flood River Drainage Limit Level

- Untuk tahap pengerjaan pembuatan peta ini hampir sama dengan tahapan pembuatan peta pada musim kering (lihat kembali langkah 10);



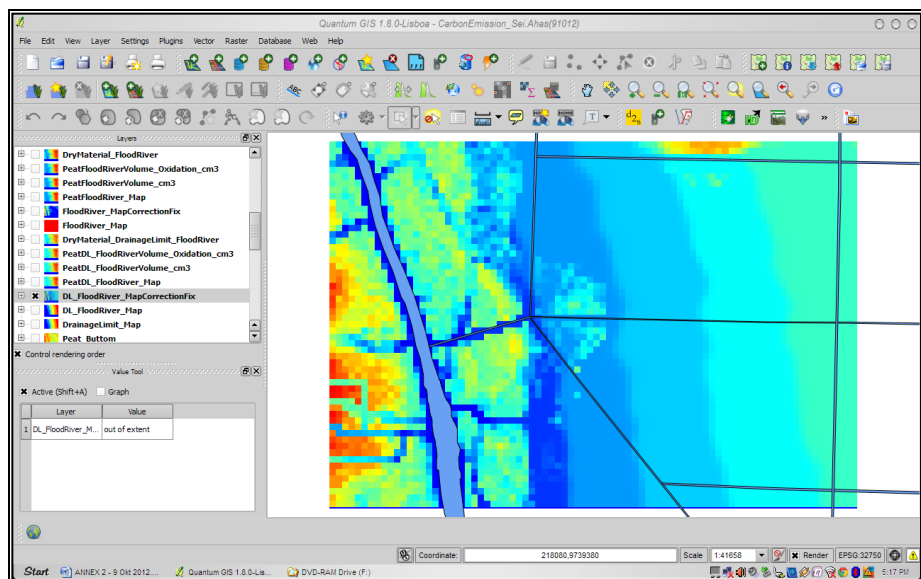
Gambar 1.31 Drainage Limit Map

- Untuk mendapatkan *drainage limit elevation flood river map* didapatkan dari hasil penambahan dari *flood river elevation map* dengan *drainage limit map* (langkah pengerjaan lihat kembali langkah 7);



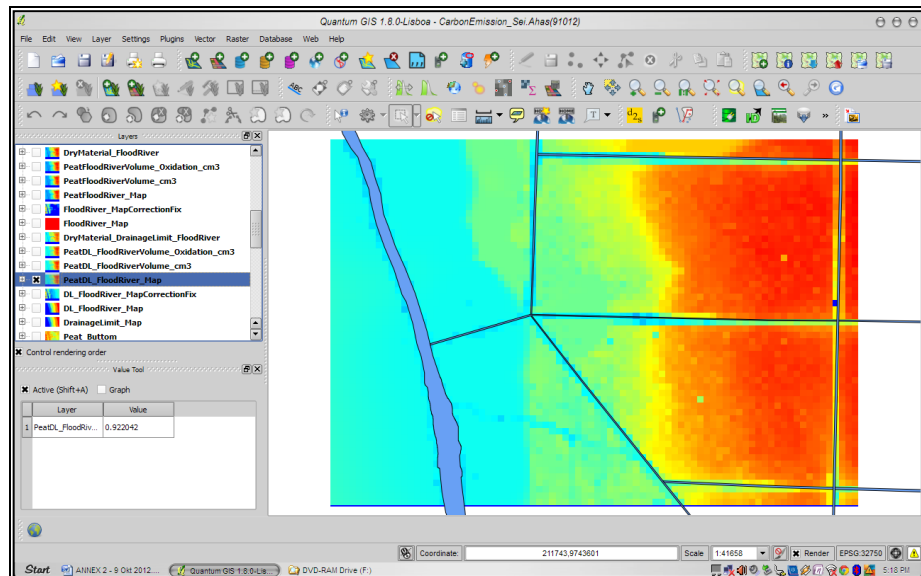
Gambar 1.32 *Drainage limit elevation (flood season river) map*

- Selanjutnya mengkombinasikan antara *peat bottom map* dengan Peta elevasi sebaran muka air tanah batas drainase/ *flood season river drainage limit elevation map* (lihat kembali langkah 8).



Gambar 1.33 *Drainage limit elevation (flood season river) correction map*

- Membuat peta ketebalan gambut di atas sebaran muka air tanah batas drainase musim hujan/*peat thicknes map above drainage limit flood river level* (lihat kembali tahapan pengerjaannya pada langkah 7).



Gambar 1.34 Dry peat depth above drainage limit level (flood season river) map

12. Proses Pembuatan Peta Klasifikasi Sebaran *Bulk Density/Bulk Density Map*

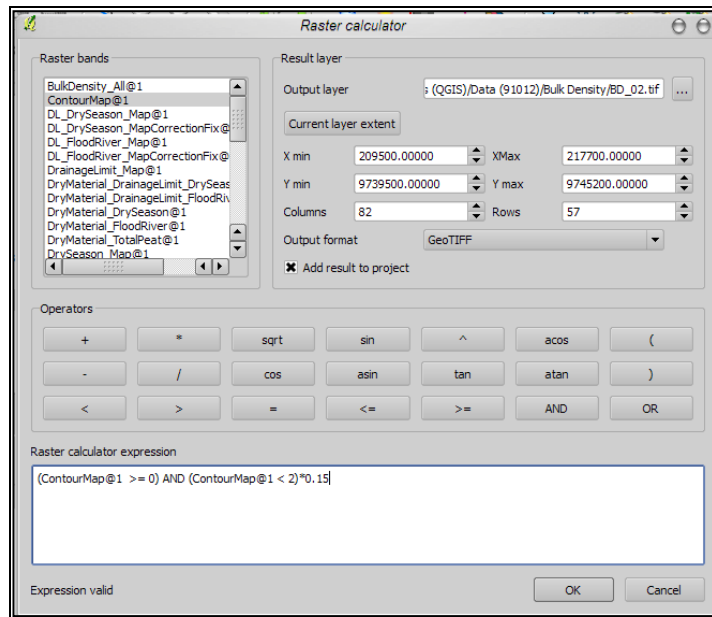
Dari klasifikasi sebaran *bulk density* dilakukan dengan menggunakan *plugin* “*Raster Calculator*” dengan menggunakan data dasar berupa peta kontur ketebalan data gambut yang kemudian diklasifikasikan berdasarkan kedalamannya. Dalam hal ini gambut dengan kedalaman 0 s/d 2 m memiliki *bulk density* $0,15 \text{ g/cm}^3$, gambut dengan kedalaman 2 s/d 4 m memiliki *bulk density* $0,1 \text{ g/cm}^3$ dan gambut dengan kedalaman lebih dari 4 m memiliki *bulk density* $0,07 \text{ g/cm}^3$. Sebelum melangkah kesana bacalah situs berikut: <http://spatialgalaxy.net/2012/01/25/using-the-qgis-raster-calculator/> dan <http://gis-lab.info/qa/rastercalc-eng.html>

- Klik menu “*Raster*” > *Raster Calculator*

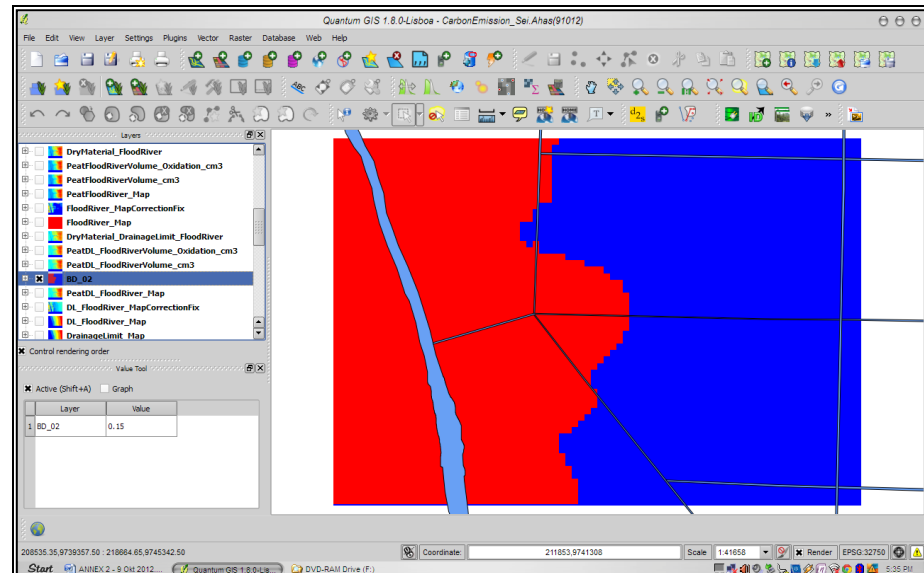
Kemudian buatlah formula dengan mengikuti seperti pada gambar di bawah ini.

1. Ketebalan gambut 0-2 m, nilai BD $0,15 \text{ g/cm}^3$

Gambar di bawah merupakan contoh formula untuk kedalaman 0-2 m dengan nilai BD $0,15 \text{ g/cm}^3$.



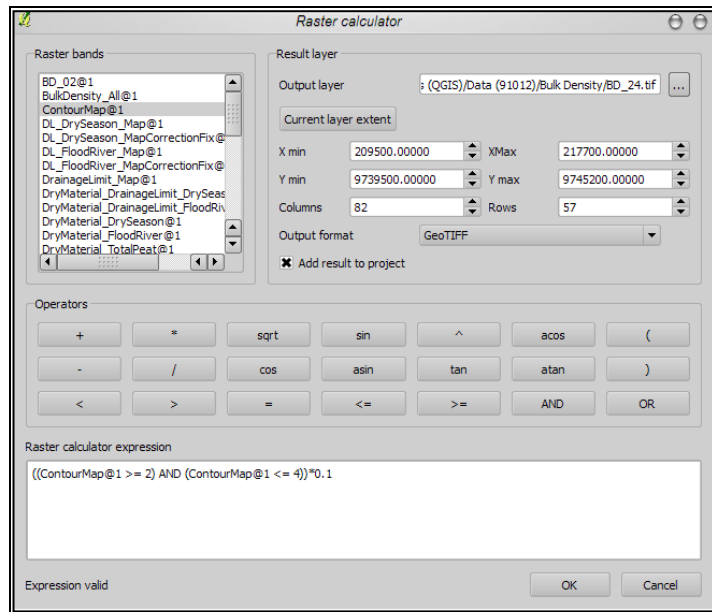
Gambar 1.35 Contoh formula pada “*Raster Calculator*” dalam mengklasifikasikan sebaran *bulk density* 0.15 g/cm^3



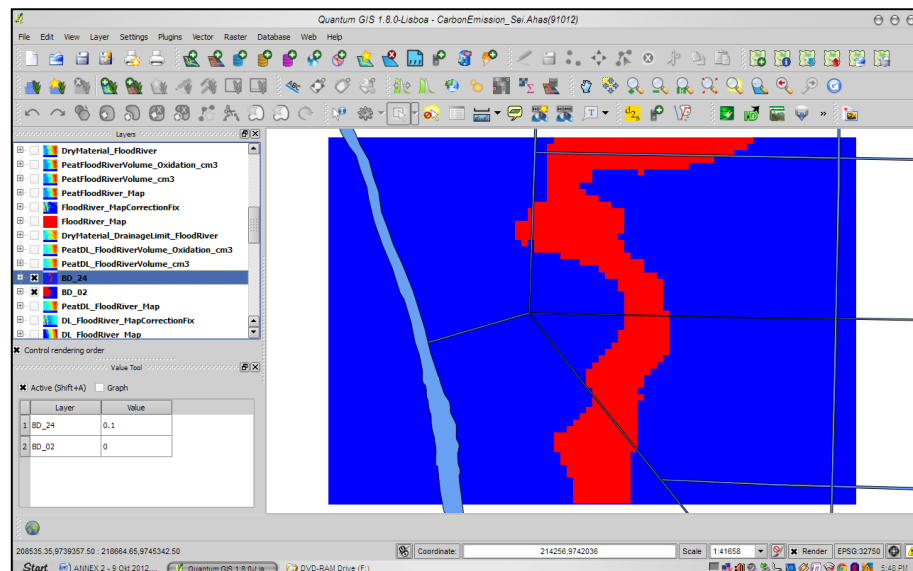
Gambar 1.36 Contoh Peta Klasifikasi Sebaran *Bulk Density* (kedalaman 0-2 m, *bulk density* $0,15 \text{ g/cm}^3$)

2. Ketebalan gambut 2-4 m, nilai BD 0.1 g/cm^3

Selanjutnya dalam pembuatan Peta *Bulk Density* untuk kedalaman 2-4 m dengan nilai BD $0,1 \text{ g/cm}^3$. Berikut contoh formula yang digunakan:



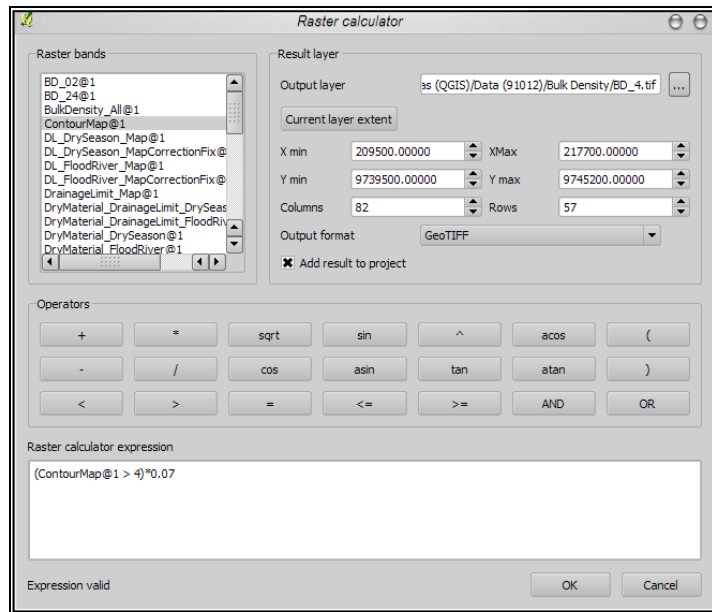
Gambar 1.37 Contoh formula pada “*Raster Calculator*” dalam mengklasifikasikan sebaran *bulk density* 0.15 g/cm^3



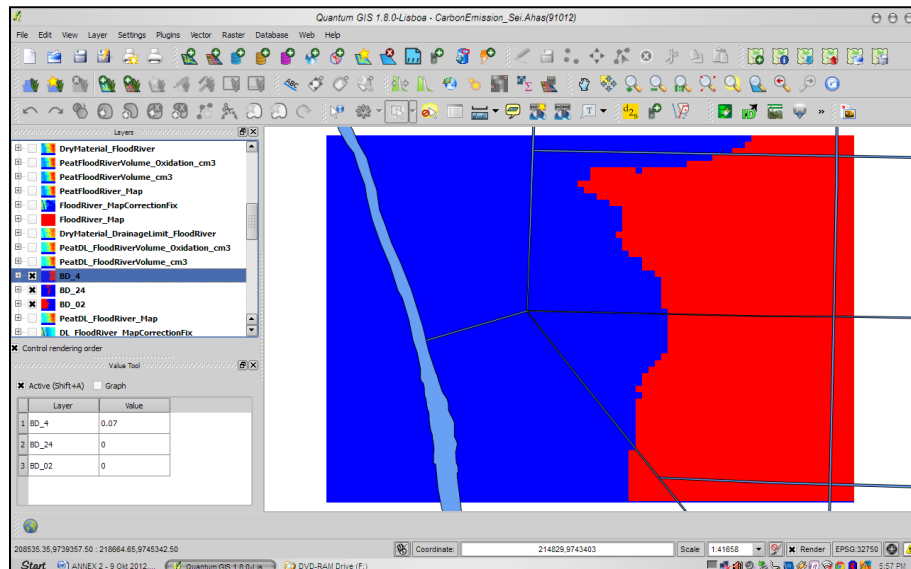
Gambar 1.38 Contoh Peta Klasifikasi Sebaran *Bulk Density* (kedalaman 2-4 m, *bulk density* $0,1 \text{ g/cm}^3$)

3. Ketebalan gambut >4 m, nilai BD 0.07 g/cm^3

Selanjutnya dalam pembuatan Peta *Bulk Density* untuk kedalaman >4 m dengan nilai BD $0,07 \text{ g/cm}^3$. Berikut contoh formula yang digunakan:

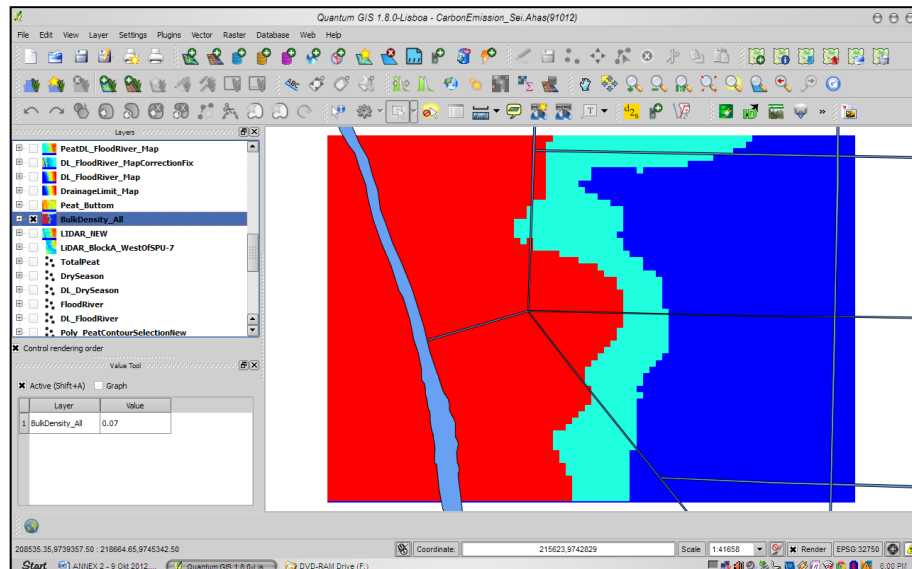


Gambar 1.39 Contoh formula pada “*Raster Calculator*” dalam mengklasifikasikan sebaran *bulk density* 0.07 g/cm^3



Gambar 1.40 Contoh Peta Klasifikasi Sebaran *Bulk Density* (kedalaman $>4 \text{ m}$, *bulk density* $0,1 \text{ g/cm}^3$)

- Setiap klasifikasi sebaran *bulk density* menghasilkan satu peta sebaran, maka perlunya penggabungan dari klasifikasi sebaran *bulk density* tersebut dengan menggunakan “*Raster Calculator*” dengan cara menambahkan ketiga *raster* tersebut dan akan menghasilkan satu Peta Klasifikasi Sebaran *Bulk Density* (lihat kembali langkah 7).

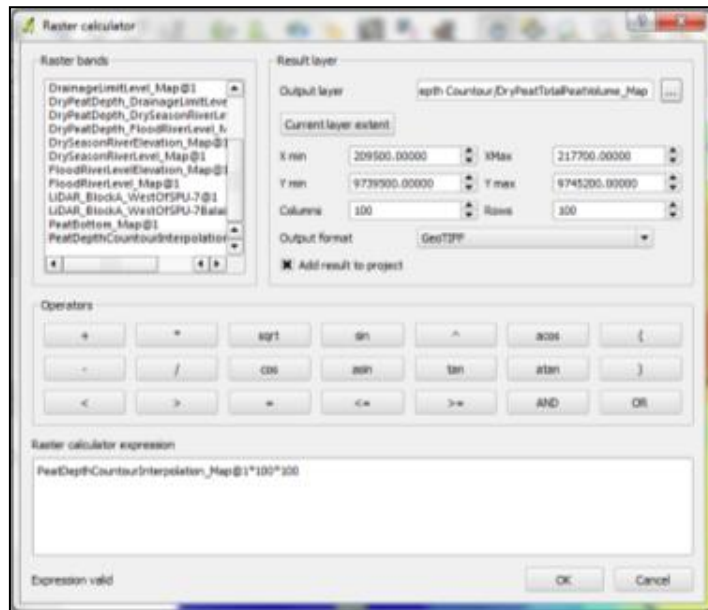


Gambar 1.41 Peta Klasifikasi Sebaran *Bulk Density*/*Bulk Density Map*

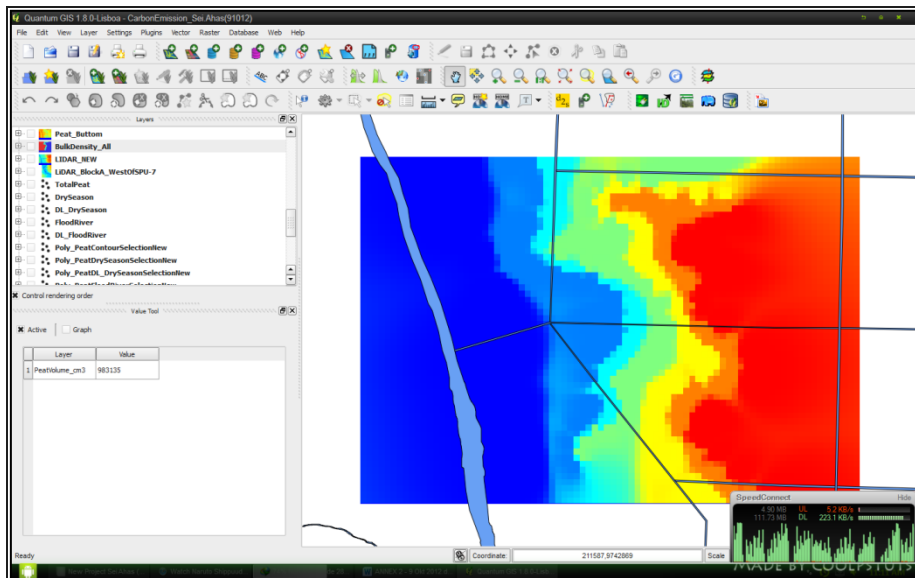
13. Pembuatan *Dry Peat Volume Oxidation of Total Peat Map*, *Dry Peat Volume Oxidation above Dry Season River Level Map*, *Dry Peat Volume Oxidation above Drainage Limit Dry Season River level Map*, *Dry Peat Volume Oxidation above Flood Season River Level Map*, dan *Dry Peat Volume Oxidation above Drainage Limit Flood Season River Level Map*

Dalam menghitung volume, data dari *dry peat depth of total peat map*, *dry peat depth above dry season river level map*, *dry peat depth above drainage limit dry season river level map*, *dry peat depth above flood river level map*, dan *dry peat depth above drainage limit flood season river level map* harus dikalikan dengan luasannya yaitu 100 m x 100 m. Pertanyaannya adalah “kenapa harus dikalikan 100 m x 100 m ?” Karena ukuran pixel dari peta elevasi sebagai data dasar dalam perhitungan memiliki ukuran 100 m x 100 m per pixelnya. Artinya setiap kotak kecil atau pixel didalam peta memiliki luasan sebesar 1 ha atau 10.000 m² lahan. Sehingga keseluruhan peta volume memiliki satuan m³.

Dalam perhitungan volume berdasarkan penjelasan di atas dapat dilakukan dengan menggunakan “*Raster > Raster Calculator*” di QGIS 1.8. Perhatikan gambar di bawah ini.



Gambar 1.42 Contoh penggunaan “*raster calculator*” dalam perhitungan volume untuk mendapatkan *dry peat volume of total peat map*



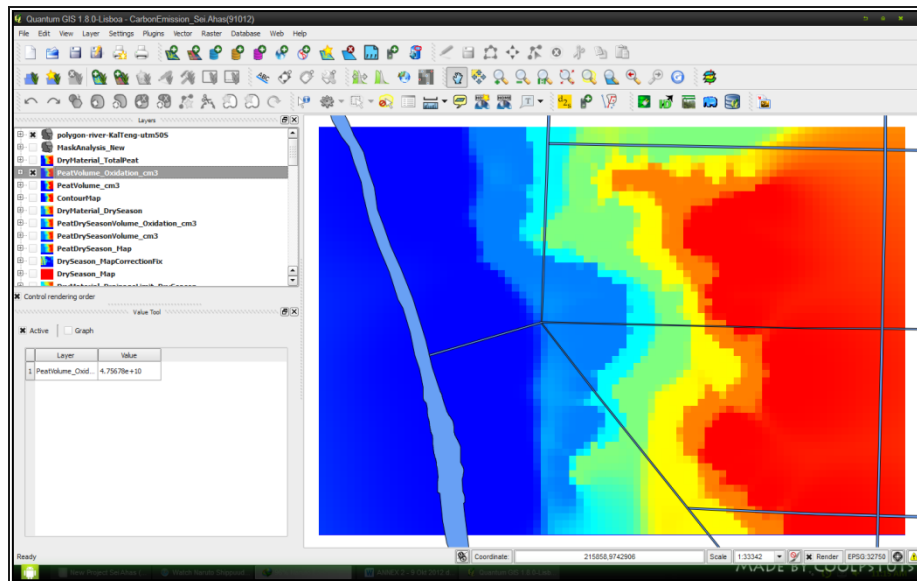
Gambar 1.43 Contoh peta volume gambut untuk gambut keseluruhan/*dry peat volume of total peat map* dalam satuan cm^3

Berikut ini besaran volume gambut di Kawasan Sei. Ahas sebesar:

Tabel 1.1 Volume Gambut di Kawasan Sei Ahas

URAIAN	Volume Gambut (cm^3)
Volume gambut keseluruhan	36070401786831.7
Volume gambut di atas muka air sungai musim kemarau	32064540356308.2
Volume gambut di atas <i>drainage limit</i> (musim kemarau)	27077760768556.2
Volume gambut di atas muka air banjir sungai	27875916339648.7
Volume gambut di atas <i>drainage limit</i> (banjir sungai)	21629301131515.3

Selanjutnya peta volume gambut tersebut dikalikan kembali dengan kandungan oksidasi gambut. Untuk besaran kandungan oksidasi gambut di Kawasan Sei. Ahas sebesar 80% dengan menggunakan *raster calculator*.



Gambar 1.44 Contoh peta volume gambut teroksidasi untuk gambut keseluruhan/*peat volume oxidation of total peat map* dalam satuan cm^3

Pada tahapan ini akan menghasilkan beberapa peta, yaitu:

- Peta volume gambut teroksidasi untuk gambut keseluruhan/*peat volume oxidation of total peat map*;
- Peta volume gambut teroksidasi untuk di atas muka air sungai musim kering/*peat volume oxidation above dry season river level map*;
- Peta volume gambut teroksidasi untuk di atas *drainage limit/peat volume oxidation above drainage limit dry season river level map*;
- Peta volume gambut teroksidasi untuk di atas muka air banjir sungai/*peat volume oxidation above flood river level map*;
- Peta volume gambut teroksidasi untuk di atas *drainage limit/peat volume oxidation above drainage limit flood season river level map*.

Berdasarkan langka-langkah yang telah dijelaskan di atas, didapatkan volume gambut teroksidasi di Kawasan Sei. Ahas sebesar:

Tabel 1.2 Volume Gambut Teroksidasi di Kawasan Sei Ahas

URAIAN	Volume Gambut Teroksidasi (cm ³)
Volume Gambut Keseluruhan	28856321927225.0
Volume Gambut di atas Muka Air Sungai Musim Kemarau	25651632741873.5
Volume Gambut di atas <i>Drainage Limit</i> (Musim Kemarau)	21662208945921.5
Volume Gambut di atas Muka Air Banjir Sungai	22300733447694.8
Volume Gambut di atas <i>Drainage Limit</i> (Banjir Sungai)	17303441191376.1

14. Pembuatan *Dry Peat Weight of Total Peat Map, Dry Peat Weight above Dry Season River Level Map, Dry Peat Weight above Drainage Limit Dry Season River Level Map, Dry Peat Weight above Flood River Level Map, dan Dry Peat Weight above Drainage Limit Flood Season River Level Map*

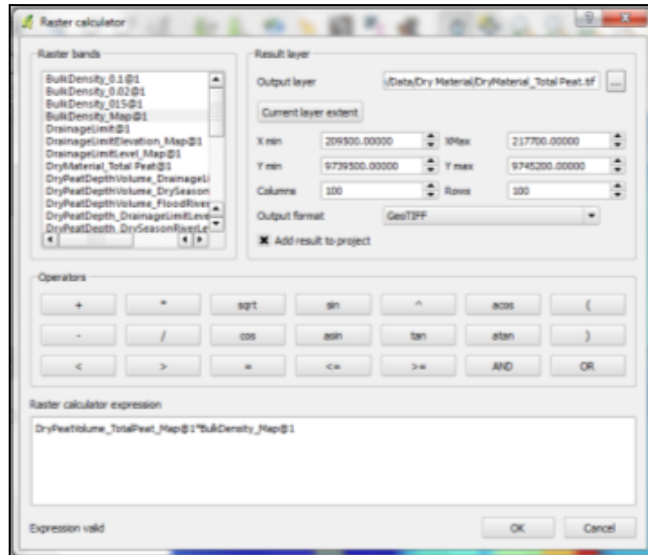
Sampai tahap ini peta yang telah dihasilkan adalah:

- Peta peta klasifikasi sebaran *bulk density/bulk density map*;
- Peta volume gambut kering untuk gambut keseluruhan/*dry peat volume of total peat map*;
- Peta volume ketebalan gambut kering untuk di atas muka air musim kering/*dry peat volume above dry season river level map*.
- Peta volume gambut kering untuk di atas *drainage limit* musim kemarau/*dry peat volume above drainage limit dry season river level map*;
- Peta volume gambut kering untuk di atas muka air banjir/*dry peat volume above flood river level map*;
- Peta volume gambut kering untuk di atas *drainage limit* (musim banjir sungai)/*dry peat volume above drainage limit flood season river level map*.

Material gambut kering/*peat dry weight* (gram) sendiri didapatkan dari hasil perkalian antara *bulk density* (g/cm³) dengan volume gambut kering (cm³). Berdasarkan rumusan tersebut dapat dianalisis material gambut kering dengan menggunakan QGIS dengan peta-peta yang telah dimiliki di atas sebagai data *input*. Tahapan pengerjaannya dapat dilihat di bawah ini:

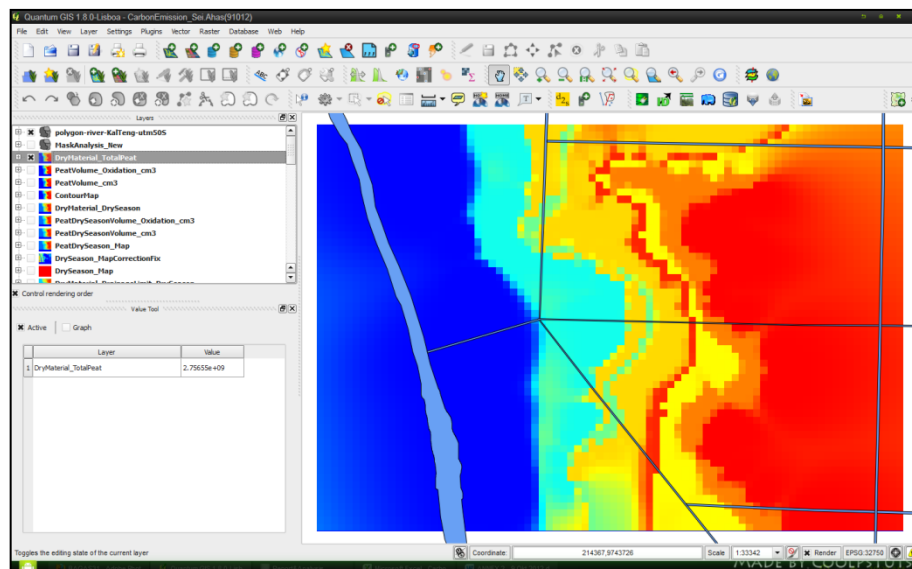
- Klik menu “*Raster*” > *Raster Calculator*
- Setelah muncul tampilan “*Raster Calculator*”, buatlah formula perkalian antara Peta *Bulk Density* dengan salah satu peta volume Gambut Kering

yang dimiliki (contoh peta yang digunakan adalah Peta Volume Gambut Kering untuk Gambut Keseluruhan/*dry peat volume of total peat map*) untuk mendapatkan peta volume material Gambut Kering yang diinginkan (lihat kembali pada langkah 7). Perhatikan gambar di bawah:



Gambar 1.45 Contoh penggunaan “*raster calculator*” dalam perhitungan kandungan karbon untuk mendapatkan *peat dry weight of total peat map*

- Lalu klik “OK”, maka QGIS akan menghasilkan peta material gambut kering untuk gambut keseluruhan/*peat dry weight of total peat map* yang dapat dilihat seperti gambar dibawah ini.

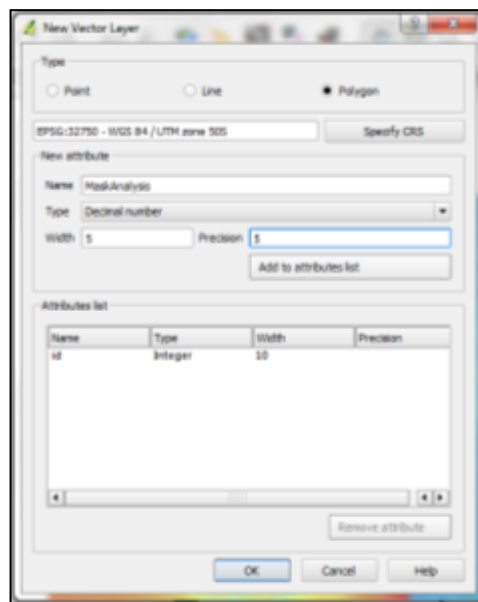


Gambar 1.46 Peta material gambut kering keseluruhan/*peat dry weight of total peat map*

- Berdasarkan langkah di atas, akan menghasilkan beberapa peta yaitu:
 - a. Peta material gambut kering untuk gambut keseluruhan/*dry peat weight total peat map*;
 - b. Peta material gambut kering untuk di atas muka air tanah musim kemarau/*dry peat weight above dry season river level map*;
 - c. Peta material gambut kering untuk di atas batas drainase musim kemarau/*dry peat weight above drainage limit dry season river level map*;
 - d. Peta material gambut kering untuk di atas muka air banjir/*peat dry weight above flood river level map*;
 - e. Peta material gambut kering untuk di atas muka air musim banjir/*peat dry weight above drainage limit flood season river level map*.

Material gambut kering dihasilkan berupa peta yang merupakan volume material gambut kering disetiap pixelnya, untuk mengetahui material gambut kering keseluruhan suatu kawasan dapat dilakukan dengan 2 cara yaitu:

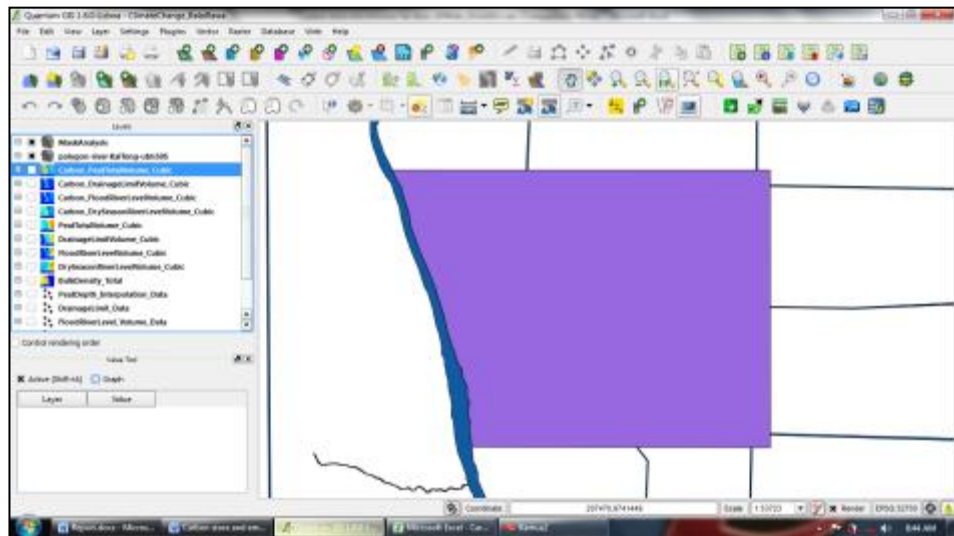
- a) Dengan menggunakan “*Zonal Statistics*” pada QGIS
 - Buatlah *layer* baru, klik menu “*Layer*” > *New* > *New Shapefile Layer*; pilih *polygon*, samakan CRS ke WGS 84/UTM zone 50s, ikuti contoh *setting* lainnya seperti pada gambar di bawah > OK.



Gambar 1.47 Contoh *setting layer* baru

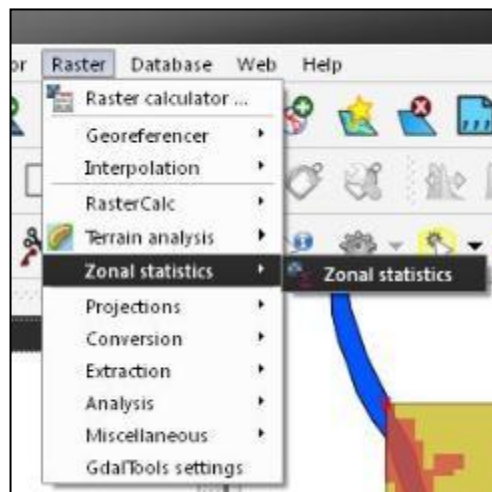
- Buatlah zona yang akan dianalisis, klik “*Toggle Editing*” > *Add Feature* > lalu gambarlah kawasan yang ingin di analisis material gambut keringnya > isi bebas id “*Attribute*” > *Save* > *Toggle Editing*.

Posisikan koordinat Xmin Ymin dan Xmax, Ymax sesuai dengan ukuran peta yang sudah dibuat.



Gambar 1.48 Zona yang telah selesai digambar yang berfungsi sebagai batas menganalisis material gambut kering keseluruhan suatu kawasan

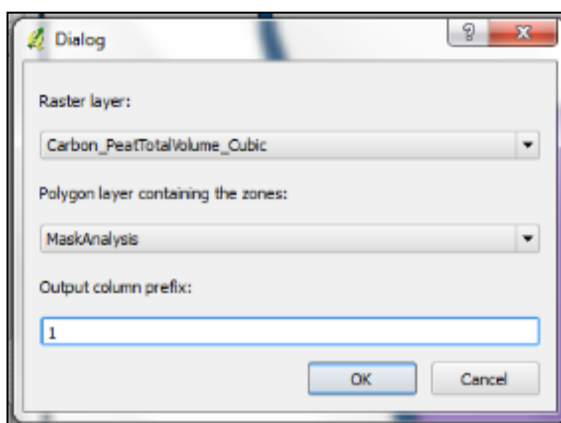
- Analisis material gambut kering keseluruhan suatu kawasan, klik menu “*Raster*” > *Zonal Statistics* > *Zonal Statistics*. *Zonal statistics* ini berfungsi untuk menentukan statistik data yang ada didalam zona yang dibatasi dengan *layer .shp* yang telah dibuat.



Gambar 1.49 Cara mengaktifkan “*Zonal Statistics*”

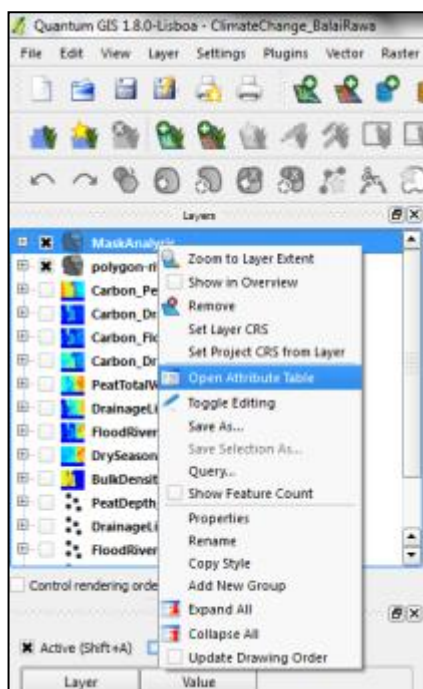
- Selanjutnya akan muncul tampilan “*Dialog*”, lalu pada “*Raster Layer*” pilih layer yang ingin dianalisis (*Peat dry weight Peat Total Volume Map*). Kemudian *shape layer* yang membatasinya pada “*Polygon Layer Containing The Zones*”, untuk *output column prefix* bebas saja untuk

penamaan id saja, dalam hal ini diisi angka 1 (satu). Lalu tekan OK setelah itu. Perhatikan gambar berikut ini.



Gambar 1.50 Tampilan “Dialog” dan cara pengisiannya

- Kemudian klik kanan pada *shape layer* (Mask Analysis) > *Open Attribute Table*.



Gambar 1.51 Cara menampilkan hasil analisis material kering keseluruhan

- Hasilnya dapat dilihat , semua data statistik yang diinginkan dalam hal ini adalah total seluruh material Gambut Kering. Lihat gambar berikut ini:

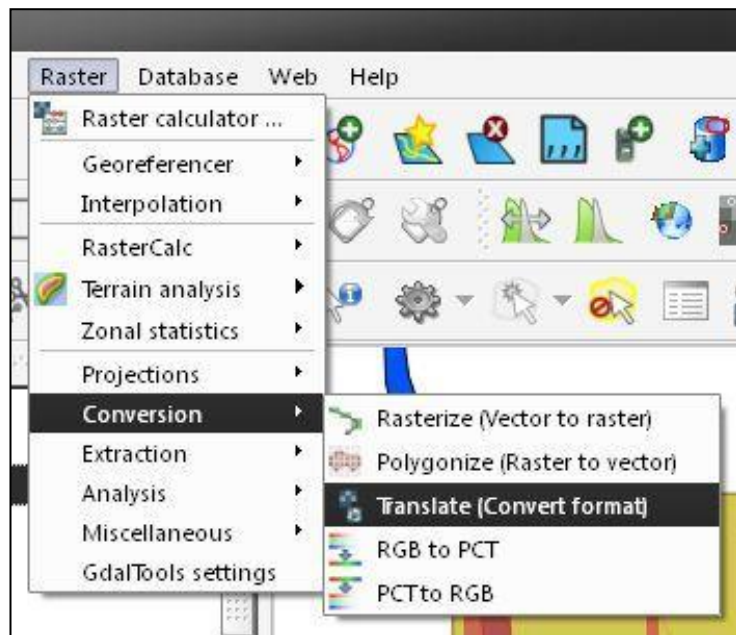
	10count	10sum	10mean	11count	11sum	11mean	12count
0	1906	1730344119137...	9078405661.7923	1906	2774993867289.98	1455925428.798	1906

Gambar 1.52 Hasil analisis material gambut kering untuk gambut keseluruhan
Kemudian hasil di atas dapat disalin ke Microsoft Excel. Berdasarkan analisis ini didapatkan bahwa Material Gambut Kering untuk Gambut Keseluruhan adalah 2774993867289.98 gram (lihat gambar dengan kolom berwarna hijau).

- Untuk analisis material Gambut Kering yang lainnya dapat dilakukan langsung dengan “*Zonal Statistics*” tanpa membuat zona kembali, tapi dengan catatan pada saat dialog pengisian *output column prefix* harus berbeda dengan yang lainnya agar tidak menimbulkan kebingungan.

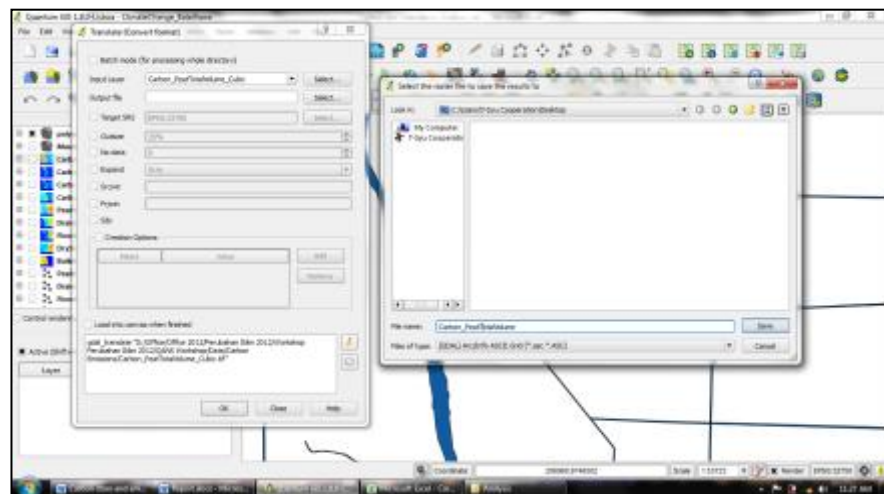
b) Dengan Excel

- Mengubah format data peta material Gambut Kering ke dalam bentuk data dengan menggunakan “*Translate [Convert Format]*”. Klik menu “*Raster*” > *Conversion* > *Translate [Convert Format]*;



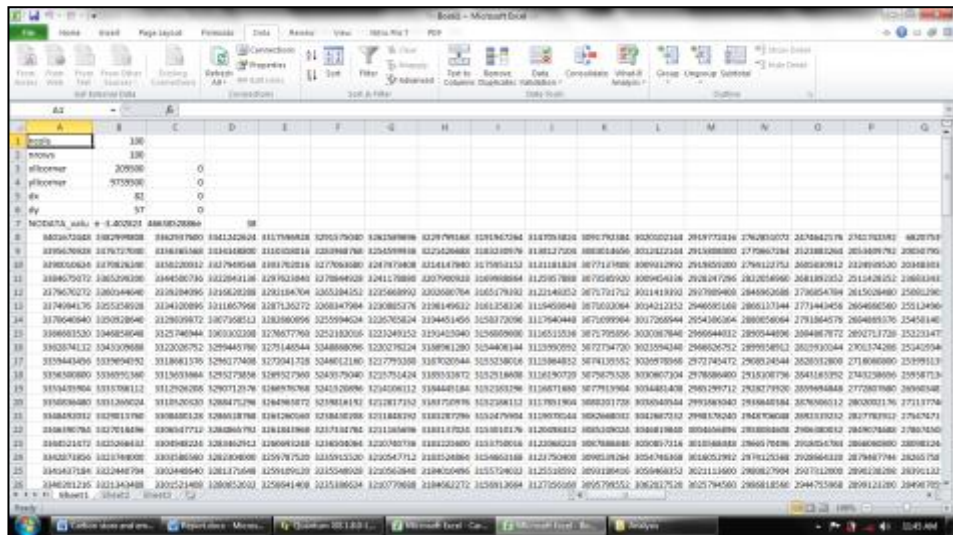
Gambar 1.53 Cara mengaktifkan “Translate [Convert Format]”

- Pilih *layer* yang akan dirubah kedalam format file .asc;



Gambar 1.54 Cara mengubah format file dari .shp ke .asc

- File *layer* yang berformat file .asc siap untuk digunakan.
- Selanjutnya buka “Microsoft Excel” > Klik tab “Data” > *From Text* > ubahlah format file menjadi “All Files” > pilih file yang ingin dibuka > *import*. Setelah itu akan tampil “Text Import Wizard”, langsung klik “next”. Lalu data tersebut dipilih agar sesuai pada kolom yang benar (lakukan dengan teliti agar angka data tidak masuk ke dalam kolom yang lain). Selanjutnya tekan “Finish”, maka data material gambut kering per pixel akan tampil. Perhatikan gambar berikut ini.



Gambar 1.55 Data material Gambut Kering dalam format file .xlsx

- Sebelum menghitung total material gambut keringnya, terlebih dahulu di pilah lagi data mana saja yang akan digunakan atau tidak digunakan.
- Setelah didapat, ditotal langsung dengan menggunakan sum dan didapatkan bahwa Material Gambut Kering untuk Gambut Keseluruhan adalah 2774993867289.98 gram.

Berdasarkan langkah-langkah yang telah dijelaskan di atas, didapatkan material Gambut Kering sebesar:

Tabel 1.3 Material Gambut Kering di Kawasan Sei Ahas

URAIAN	Material Gambut Kering (Mton)	
	Manual Excel	QGIS
Gambut Keseluruhan	2.775	2.775
Gambut di atas Muka Air Sungai Musim Kemarau	2.481	2.481
Gambut di atas Drainage limit (Musim Kemarau)	2.113	2.113
Gambut di atas Muka Air Banjir Sungai	2.157	2.157
Gambut di atas Drainage Limit (Banjir Sungai)	1.677	1.677

15. Perhitungan Volume Karbon Gambut

Volume Karbon Gambut didapatkan dari hasil perkalian antara volume material Gambut Kering dengan kandungan karbon gambut dangkal (*carbon content shallow peat*). Nilai kandungan karbon gambut dangkal sebesar 50% dan 55%. Untuk perhitungan berikut ini menggunakan *software* Microsoft Excel. Berikut hasil perhitungannya:

Tabel 1.4 Volume Karbon Gambut di Kawasan Sei Ahas

URAIAN	MATERIAL GAMBUT KERING (Mton)	VOLUME KARBON GAMBUT (Mton)	
		CARBON CONTENT SHALLOW PEAT (50%)	CARBON CONTENT SHALLOW PEAT (55%)
Gambut Keseluruhan	2.775	1.387	1.526
Gambut di atas Muka Air Sungai Musim Kemarau	2.481	1.240	1.365
Gambut di atas Drainage limit (Musim Kemarau)	2.113	1.057	1.162
Gambut di atas Muka Air Banjir Sungai	2.157	1.079	1.186
Gambut di atas Drainage Limit (Banjir Sungai)	1.677	0.839	0.923

16. Perhitungan Emisi Karbon

Karbon yang teroksidasi memiliki nama unsur yaitu karbon dioksida (CO_2). Diketahui bahwa total unsur atom dari CO_2 adalah 44 (dimana C = 12.0107 g; O = 15.9994 g), sehingga diketahui bahwa ratio karbon pada gas karbon dioksida (CO_2) sebesar 3,66. Sehingga dengan rasio ini digunakan untuk mengetahui akan besaran emisi karbon dari karbon teroksidasi yang telah hitung pada langkah 15. Caranya adalah dengan mengalikan nilai karbon teroksidasi dengan rasio karbonnya yaitu 3,66. Berikut merupakan hasil dari perhitungannya:

Tabel 1.5 Emisi karbon di Kawasan Sei Ahas

URAIAN	MATERIAL GAMBUT KERING (Mton)	VOLUME KARBON GAMBUT (Mton)		EMISI KARBON (Mton)	
		CARBON CONTENT SHALLOW PEAT (50%)	CARBON CONTENT SHALLOW PEAT (55%)	CARBON CONTENT SHALLOW PEAT (50%)	CARBON CONTENT SHALLOW PEAT (55%)
Gambut keseluruhan	2.775	1.387	1.526	5.087	5.596
Gambut di atas muka air sungai musim kemarau	2.481	1.240	1.365	4.548	5.003
Gambut di atas drainage limit (musim kemarau)	2.113	1.057	1.162	3.874	4.262
Gambut di atas muka air banjir sungai	2.157	1.079	1.186	3.955	4.350
Gambut di atas drainage limit (banjir sungai)	1.677	0.839	0.923	3.075	3.383

17. Perhitungan Kecepatan Penurunan Gambut, Waktu Penurunan Karbon dan Laju Emisi Karbon di Kawasan Sei. Ahas (Kondisi Tidak Ada Bendung dan Tanpa Penghutan Kembali)

- Hitunglah kecepatan penurunan gambut (*subsidence rate*) pada suatu kawasan. Dengan kondisi tidak ada bendung dan tanpa penghutan kembali, maka persamaan yang digunakan adalah:

$$\text{Subsidence rate cm/tahun} = 1,5 - 4,98 \cdot \text{WD (meter)}$$

Water depth average (WD) diasumsikan sebesar 0,4 m, maka kecepatan penurunan gambutnya di Kawasan Sei. Ahas

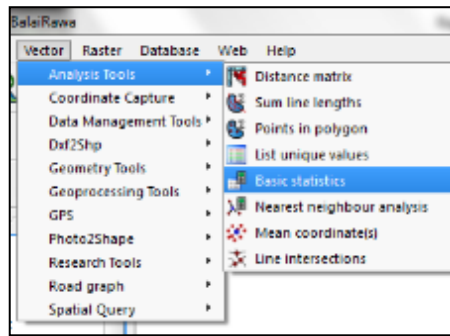
$$\begin{aligned}\text{Subsidence rate} &= 1,5 - 4,98\text{WD} \\ &= 1,5 - 4,98 \cdot (-0,4) \\ &= \mathbf{3,492} \text{ cm/tahun}\end{aligned}$$

- Selanjutnya hitunglah waktu penurunan gambut yang dibutuhkan pada suatu kawasan. Terlebih dahulu harus diketahui ketebalan gambut maksimum pada suatu kawasan baik dalam kondisi *Drainage Limit*, *flood river level*, dan *dry season river level*. Persamaan yang digunakan adalah:

$$\text{Time Subsidence tahun} = \frac{\text{Peat Thickness cm}}{\text{Subsidence Rate cm/tahun}}$$

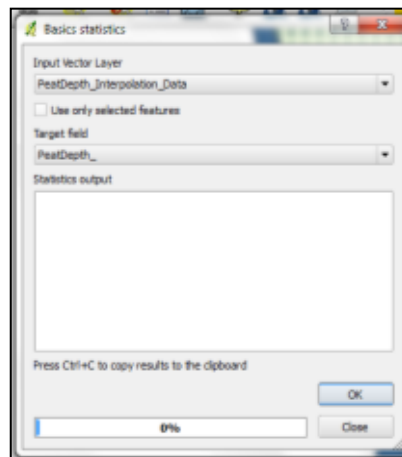
Untuk mengetahui ketebalan gambut maksimum pada suatu kawasan, akan digunakan QGIS. Berikut langkah-langkah pengerjaannya:

- Langkah pertama digunakan “*vector grid*” untuk peta ketebalan gambut dan pilih *vector grid* sesuai dengan kawasan studi yang akan dianalisis;
- Ubahlah hasil *vector grid* tersebut menjadi *polygon centroids*;
- Ubahlah data *polygon centroids* menjadi data ketebalan gambut dengan menggunakan *points sampling tool*;
- Klik menu “*Vector*” > *Analysis Tools* > *Basic Statistics*;



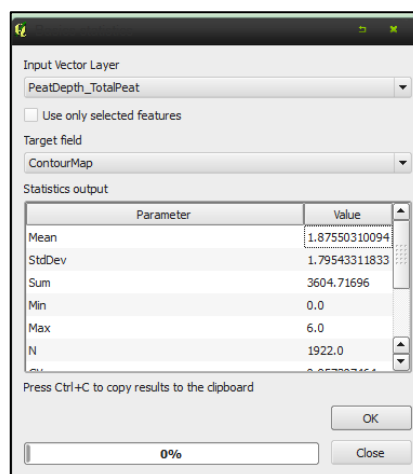
Gambar 1.56 Cara mengaktifkan “Basic Statistics”

- Lalu pilihlah *input vector layer* yang ingin digunakan, lalu klik OK;



Gambar 1.57 Tampilan “Basic Statistics”

- Setelah itu *basic statistics* akan memproses dan selanjutnya akan menampilkan hasil akan statistik data ketebalan yang di-*input* tadi. Pada *basic statistics* tersebut akan menampilkan *mean*, maka itulah merupakan ketebalan gambut yang rata-rata pada suatu kawasan.



Gambar 1.58 Statistik ketebalan gambut pada suatu kawasan

Berdasarkan gambar di atas didapatkan bahwa ketebalan gambut maksimum sebesar 1.876 m = 187.6 cm (*Average Amount of Peat above Drainage Limit Level*).

Selanjutnya cara menghitung waktu penurunan gambut untuk *Drainage Limit level*:

$$\text{Time Subsidence tahun} = \frac{\text{Peat Depth cm}}{\text{Subsidence Rate cm/tahun}}$$

$$\text{Time Subsidence tahun} = \frac{187.6}{3,492} = 54 \text{ tahun}$$

Berikut waktu penurunan gambut di Kawasan Sei. Ahas:

Tabel 1.6 Waktu penurunan gambut di Kawasan Sei Ahas

URAIAN	KETEBALAN GAMBUT RERATA (cm)	WAKTU PENURUNAN GAMBUT (tahun)
Gambut Keseluruhan	187.6	54
Gambut di atas Muka Air Sungai Musim Kemarau	166.8	48
Gambut di atas Drainage limit (Musim Kemarau)	140.9	40
Gambut di atas Muka Air Banjir Sungai	144.7	41
Gambut di atas <i>Drainage Limit</i> (Banjir Sungai)	112.3	32

- Untuk langkah berikutnya adalah menghitung laju emisi karbon pada suatu kawasan yaitu dengan cara membagi emisi karbon dengan waktu penurunan gambut. Berikut ini persamaannya adalah:

$$\text{Carbon Emission Rate per Year Mton/tahun} = \frac{\text{Emission Carbon Mton}}{\text{Time Subsidence tahun}}$$

Contoh perhitungan laju emisi karbon untuk *Drainage Limit level*:

$$\text{Carbon Emission Rate per Year Mton/tahun} = \frac{\text{Emission Carbon Mton}}{\text{Time Subsidence tahun}}$$

$$\text{Carbon Emission Rate per Year Mton/tahun} = \frac{5.087}{54} = 0.095 \text{ Mton/tahun}$$

Berikut laju emisi karbon di Kawasan Sei. Ahas:

Tabel 1.7 Laju emisi karbon di Kawasan Sei Ahas

URAIAN	EMISI KARBON (Mton)		LAJU EMISI KARBON (Mton/tahun)	
	CARBON CONTENT SHALLOW PEAT (50%)	CARBON CONTENT SHALLOW PEAT (55%)	CARBON CONTENT SHALLOW PEAT (50%)	CARBON CONTENT SHALLOW PEAT (55%)
Gambut Keseluruhan	5.087	5.596	0.095	0.104
Gambut di atas Muka Air Sungai Musim Kemarau	4.548	5.003	0.095	0.105
Gambut di atas Drainage limit (Musim Kemarau)	3.874	4.262	0.096	0.106
Gambut di atas Muka Air Banjir Sungai	3.955	4.350	0.095	0.105
Gambut di atas <i>Drainage Limit</i> (Banjir Sungai)	3.075	3.383	0.096	0.105

- Setelah didapatkan laju emisi karbon, maka dapat dilakukan prediksi besaran emisi karbon untuk 25 tahun, 50 tahun dan 100 tahun. Berikut ini besaran emisi karbon di Kawasan Sei. Ahas:

Tabel 1.8 Emisi karbon di Kawasan Sei Ahas

URAIAN	EMISI KARBON (Mton)					
	25 tahun		50 tahun		100 tahun	
	CARBON CONTENT SHALLOW PEAT (50%)	CARBON CONTENT SHALLOW PEAT (55%)	CARBON CONTENT SHALLOW PEAT (50%)	CARBON CONTENT SHALLOW PEAT (55%)	CARBON CONTENT SHALLOW PEAT (50%)	CARBON CONTENT SHALLOW PEAT (55%)
Gambut Keseluruhan	2.375	2.605	4,736 (50 thn)	5.210 (50 thn)	5,087 (54 thn)	5.596 (54 thn)
Gambut di atas Muka Air Sungai Musim Kemarau	2.380	2.618	4,548 (48 thn)	5.003 (48 thn)	-	-
Gambut di atas Drainage limit (Musim Kemarau)	2.401	2.641	3,874 (40 thn)	4.262 (40 thn)	-	-
Gambut di atas Muka Air Banjir Sungai	2.386	2,624	3,955 (41 thn)	4.350 (41 thn)	-	-
Gambut di atas <i>Drainage Limit</i> (Banjir Sungai)	2.390	2.629	3,075 (32 thn)	3.383 (32 thn)	-	-

18. Perhitungan Kecepatan Penurunan Gambut, Waktu Penurunan Karbon dan Laju Emisi Karbon di Kawasan Sei. Ahas (Kondisi Ada 3 Bendung dan Tanpa Penghutanan Kembali)

- Hitunglah kecepatan penurunan gambut (*subsidence rate*) pada suatu kawasan. Persamaan yang digunakan sama dengan langkah 17, akan tetapi nilai WD tereduksi sebesar menjadi 50% karena dipengaruhi adanya 3 bendung. Berikut persamaan yang digunakan adalah:

$$\text{Subsidence rate cm/tahun} = 1,5 - 4,98 \cdot \text{WD (meter)}$$

Pada langkah 17 diketahui bahwa *water depth average* (WD) diasumsikan sebesar 0,4 m, karena adanya 3 saluran maka WD tereduksi sebanyak 50% sehingga menjadi 0,2 m. Berikut merupakan contoh perhitungan kecepatan penurunan:

$$\begin{aligned} \text{Subsidence rate} &= 1,5 - 4,98\text{WD} \\ &= 1,5 - 4,98 \cdot (-0,2) \\ &= \mathbf{2,496 \text{ cm/tahun}} \end{aligned}$$

- Untuk perhitungan waktu penurunan gambut, dapat mengikuti langkah 17 di atas. Berikut waktu penurunan gambut di Kawasan Sei. Ahas:

Tabel 1.9 Waktu penurunan gambut di Kawasan Sei Ahas

URAIAN	MATERIAL GAMBUT KERING (Mton)	VOLUME KARBON GAMBUT (Mton)		EMISI KARBON (Mton)	
		CARBON CONTENT SHALLOW PEAT (50%)	CARBON CONTENT SHALLOW PEAT (55%)	CARBON CONTENT SHALLOW PEAT (50%)	CARBON CONTENT SHALLOW PEAT (55%)
Gambut keseluruhan	2.775	1.387	1.526	5.087	5.596
Gambut di atas muka air sungai musim kemarau	2.481	1.240	1.365	4.548	5.003
Gambut di atas <i>drainage limit</i> (musim kemarau)	2.113	1.057	1.162	3.874	4.262
Gambut di atas muka air banjir sungai	2.157	1.079	1.186	3.955	4.350
Gambut di atas <i>drainage limit</i> (banjir sungai)	1.677	0.839	0.923	3.075	3.383

- Untuk langkah berikutnya adalah menghitung laju emisi karbon pada suatu kawasan dapat mengikuti langkah 17. Berikut merupakan hasil laju emisi karbon di Kawasan Sei Ahas:

Tabel 1.10 Laju emisi karbon di Kawasan Sei Ahas

URAIAN	EMISI KARBON (Mton)		LAJU EMISI KARBON (Mton/tahun)	
	CARBON CONTENT SHALLOW PEAT (50%)	CARBON CONTENT SHALLOW PEAT (55%)	CARBON CONTENT SHALLOW PEAT (50%)	CARBON CONTENT SHALLOW PEAT (55%)
Gambut Keseluruhan	5.087	5.596	0.068	0,074
Gambut di atas Muka Air Sungai Musim Kemarau	4.548	5.003	0.068	0,075
Gambut di atas Drainage limit (Musim Kemarau)	3.874	4.262	0.069	0,076
Gambut di atas Muka Air Banjir Sungai	3.955	4.350	0.068	0,075
Gambut di atas <i>Drainage Limit</i> (Banjir Sungai)	3.075	3.383	0.068	0,075

- Selanjutnya prediksi besaran emisi karbon 25, 50 dan 100 tahun. dengan didapatkan hasil Berikut ini besaran emisi karbon 25, 50 dan 100 tahun di Kawasan Sei. Ahas:

Tabel 1.11 Emisi karbon di Kawasan Sei Ahas

URAIAN	EMISI KARBON (Mton)					
	25 tahun		50 tahun		100 tahun	
	CARBON CONTENT SHALLOW PEAT (50%)	CARBON CONTENT SHALLOW PEAT (55%)	CARBON CONTENT SHALLOW PEAT (50%)	CARBON CONTENT SHALLOW PEAT (55%)	CARBON CONTENT SHALLOW PEAT (50%)	CARBON CONTENT SHALLOW PEAT (55%)
Gambut Keseluruhan	1.693	1.862	3.385 (50 thn)	3.724 (50 thn)	6.771 (75 thn)	5.596 (75 thn)
Gambut di atas Muka Air Sungai Musim Kemarau	1.701	1.871	3.403 (50 thn)	3.743 (50 thn)	6.805 (67 thn)	5.003 (67 thn)
Gambut di atas Drainage limit (Musim Kemarau)	1.716	1.888	3.432 (50 thn)	3.775 (50 thn)	6.864 (56 thn)	4.262 (56 thn)
Gambut di atas Muka Air Banjir Sungai	1.705	1.876	3.410 (50 thn)	3.751 (50 thn)	6.821 (58 thn)	4.350 (58 thn)
Gambut di atas <i>Drainage Limit</i> (Banjir Sungai)	1.708	1.879	3.075 (45 thn)	3.383 (45 thn)	-	-

19. Perhitungan Kecepatan Penurunan Gambut, Waktu Penurunan Karbon dan Laju Emisi Karbon di Kawasan Sei. Ahas (Kondisi Ada 3 Bendung dan Penghutanan Kembali)

- Dengan kondisi adanya 3 bendung dan penghutanan kembali, terdapat ada 2 (dua) buah persamaan yaitu:

$$\text{Subsidence rate cm/tahun} = 0,41 - 6,04 \cdot WD \text{ (meter)}$$

$$\text{Subsidence rate cm/tahun} = 7,06 \cdot \text{WD (meter)}$$

Pada langkah 17 diketahui bahwa *water depth average* (WD) diasumsikan sebesar 0,4 m, karena adanya 3 saluran maka WD tereduksi sebanyak 50% sehingga menjadi 0,2 m. Berikut merupakan contoh perhitungan kecepatan penurunan pada persamaan pertama:

$$\begin{aligned} \text{Subsidence rate} &= 0,41 - 6,04\text{WD} \\ &= 0,41 - 6,04 \cdot (0,2) \\ &= \mathbf{1,618} \text{ cm/tahun} \end{aligned}$$

Sedangkan dalam persamaan kedua *water depth average* (WD) diasumsikan sebesar 0,4 m. Berikut merupakan contoh perhitungan kecepatan penurunan:

$$\begin{aligned} \text{Subsidence rate} &= 7,06\text{WD} \\ &= 7,06 \cdot (0,4) \\ &= \mathbf{2,824} \text{ cm/tahun} \end{aligned}$$

Berdasarkan hasil perhitungan kecepatan penurunan dari kedua persamaan di atas, didapatkan bahwa pada persamaan pertama kecepatan penurunannya lebih logis dibandingkan persamaan kedua. Sehingga hasil kecepatan penurunan yang digunakan adalah **1,618** cm/tahun.

- Untuk perhitungan waktu penurunan gambut, dapat mengikuti langkah 17 di atas. Berikut waktu penurunan gambut di Kawasan Sei. Ahas:

Tabel 1.12 Waktu penurunan gambut di Kawasan Sei Ahas

URAIAN	KETEBALAN GAMBUT MAKSIMUM (cm)	WAKTU PENURUNAN GAMBUT (tahun)
Gambut Keseluruhan	187.6	116
Gambut di atas Muka Air Sungai Musim Kemarau	166.8	103
Gambut di atas Drainage limit (Musim Kemarau)	140.9	87
Gambut di atas Muka Air Banjir Sungai	144.7	89
Gambut di atas <i>Drainage Limit</i> (Banjir Sungai)	112.3	69

- Untuk langkah berikutnya adalah menghitung laju emisi karbon pada suatu kawasan dapat mengikuti langkah 17. Berikut merupakan hasil laju emisi karbon di Kawasan Sei Ahas:

Tabel 1.13 Laju emisi karbon di Kawasan Sei Ahas

URAIAN	EMISI KARBON (Mton)		LAJU EMISI KARBON (Mton/tahun)	
	CARBON CONTENT SHALLOW PEAT (50%)	CARBON CONTENT SHALLOW PEAT (55%)	CARBON CONTENT SHALLOW PEAT (50%)	CARBON CONTENT SHALLOW PEAT (55%)
Gambut Keseluruhan	5.087	5.596	0.044	0.048
Gambut di atas Muka Air Sungai Musim Kemarau	4.548	5.003	0.044	0.049
Gambut di atas Drainage limit (Musim Kemarau)	3.874	4.262	0.044	0.049
Gambut di atas Muka Air Banjir Sungai	3.955	4.350	0.044	0.049
Gambut di atas <i>Drainage Limit</i> (Banjir Sungai)	3.075	3.383	0.044	0.049

- Selanjutnya prediksi besaran emisi karbon 25 tahun, 50 tahun dan 100 tahun. dengan didapatkan hasil Berikut ini besaran emisi karbon 25 tahun, 50 tahun dan 100 tahun di Kawasan Sei. Ahas:

Tabel 1.14 Emisi karbon di Kawasan Sei Ahas

URAIAN	EMISI KARBON (Mton)					
	25 tahun		50 tahun		100 tahun	
	CARBON CONTENT SHALLOW PEAT (50%)	CARBON CONTENT SHALLOW PEAT (55%)	CARBON CONTENT SHALLOW PEAT (50%)	CARBON CONTENT SHALLOW PEAT (55%)	CARBON CONTENT SHALLOW PEAT (50%)	CARBON CONTENT SHALLOW PEAT (55%)
Gambut Keseluruhan	1.097	1.207	2.194	2.414	4.389 (100 thn)	4.828 (100 thn)
Gambut di atas Muka Air Sungai Musim Kemarau	1.103	1.313	2.206	2.426	4.411 (100 thn)	4.852 (100 thn)
Gambut di atas Drainage limit (Musim Kemarau)	1.112	1.224	2.225	2.447	3.874 (87 thn)	4.262 (87 thn)
Gambut di atas Muka Air Banjir Sungai	1.105	1.216	2.211	2.432	3.955 (89 thn)	4.350 (89 thn)
Gambut di atas <i>Drainage Limit</i> (Banjir Sungai)	1.107	1.218	2.215	2.436	3.075 (69 thn)	3.383 (69 thn)

20. Perhitungan Kecepatan Penurunan Gambut, Waktu Penurunan Karbon dan Laju Emisi Karbon di Kawasan Sei. Ahas (Kondisi Tidak Ada Bendung, Tanpa Penghutanan Kembali dan Adanya Kebakaran)

- Hitunglah perhitungan kecepatan penurunan gambut
Berdasarkan peta sebaran kebakaran lahan gambut di Kawasan Sei. Ahas tahun 2001-2009, diketahui bahwa adanya 54 titik api dari 27 titik kawasan Sei Ahas. Sehingga kalau dirata-ratakan bahwa adanya 2,19 titik api per kawasan (2,19 *fires/cells*) selama 9 tahun (0,243 *fires/cells year*). Diasumsikan setiap 1 titik api terjadi penurunan lahan gambut sebesar 10

cm/tahun. Dengan kondisi tidak adanya saluran, tanpa penghutanan kembali dan terjadi kebakaran, maka persamaan yang digunakan adalah:

$$\text{Subsidence rate cm/tahun} = 1,5 - 4,98 \cdot WD \text{ meter} + \text{Annual Average Fires}$$

Berikut merupakan contoh perhitungan kecepatan penurunan gambut:

$$\begin{aligned} \text{Subsidence rate} &= 1,5 - 4,98WD + \text{Annual Average Fires} \\ &= 0,41 - 6,04 \cdot (-0,4) + (0,243 \cdot 10) \\ &= \mathbf{5,920 \text{ cm/tahun}} \end{aligned}$$

- Untuk perhitungan waktu penurunan gambut, dapat mengikuti langkah 17 di atas. Berikut waktu penurunan gambut di Kawasan Sei. Ahas:

Tabel 1.15 Waktu penurunan gambut di Kawasan Sei Ahas

URAIAN	Ketebalan Gambut Maksimum (cm)	Waktu Penurunan Gambut (tahun)
Gambut Keseluruhan	187.6	32
Gambut di atas Muka Air Sungai Musim Kemarau	166.8	28
Gambut di atas Drainage limit (Musim Kemarau)	140.9	24
Gambut di atas Muka Air Banjir Sungai	144.7	24
Gambut di atas <i>Drainage Limit</i> (Banjir Sungai)	112.3	19

- Untuk langkah berikutnya adalah menghitung laju emisi karbon pada suatu kawasan dapat mengikuti langkah 17. Berikut merupakan hasil laju emisi karbon di Kawasan Sei Ahas:

Tabel 1.16 Laju emisi karbon di Kawasan Sei Ahas

URAIAN	EMISI KARBON (Mton)		LAJU EMISI KARBON (Mton/tahun)	
	CARBON CONTENT SHALLOW PEAT (50%)	CARBON CONTENT SHALLOW PEAT (55%)	CARBON CONTENT SHALLOW PEAT (50%)	CARBON CONTENT SHALLOW PEAT (55%)
Gambut Keseluruhan	5.087	5.596	0.161	0.177
Gambut di atas Muka Air Sungai Musim Kemarau	4.548	5.003	0.161	0.178
Gambut di atas Drainage limit (Musim Kemarau)	3.874	4.262	0.163	0.179
Gambut di atas Muka Air Banjir Sungai	3.955	4.350	0.162	0.178
Gambut di atas <i>Drainage Limit</i> (Banjir Sungai)	3.075	3.383	0.162	0.178

- Selanjutnya prediksi besaran emisi karbon 25, 50 dan 100 tahun dengan didapatkan hasil berikut ini besaran emisi karbon 25, 50 dan 100 tahun di Kawasan Sei. Ahas:

Tabel 1.17 Emisi karbon di Kawasan Sei Ahas

URAIAN	EMISI KARBON (Mton)					
	25 tahun		50 tahun		100 tahun	
	CARBON CONTENT SHALLOW PEAT (50%)	CARBON CONTENT SHALLOW PEAT (55%)	CARBON CONTENT SHALLOW PEAT (50%)	CARBON CONTENT SHALLOW PEAT (55%)	CARBON CONTENT SHALLOW PEAT (50%)	CARBON CONTENT SHALLOW PEAT (55%)
Gambut Keseluruhan	4.015 (25 thn)	4.416 (25 thn)	8.832 (32 thn)	2.414	-	-
Gambut di atas Muka Air Sungai Musim Kemarau	4.035 (25 thn)	4.439 (25 thn)	8.877 (28 thn)	2.426	-	-
Gambut di atas Drainage limit (Musim Kemarau)	3.874 (24 thn)	4.262 (24 thn)	-	-	-	-
Gambut di atas Muka Air Banjir Sungai	3.955 (24 thn)	4.350 (24 thn)	-	-	-	-
Gambut di atas <i>Drainage Limit</i> (Banjir Sungai)	3.075 (19 thn)	3.383 (19 thn)	-	-	-	-

21. Perhitungan Total Laju Emisi Karbon dan Emisi Karbon yang Dihasilkan pada Tahun Pertama Sampai pada Tahun ke-50 di Kawasan Sei. Ahas (Kondisi Alamiah Tanpa Rehabilitasi, Kondisi Pengembangan Lahan Perkebunan, Kondisi Adanya Bendung, Kondisi Adanya Bendung dan Penghutanan Kembali)

A. Kondisi Alamiah Tanpa Rehabilitasi (*Actual Situation*)

- Hitunglah cadangan karbon awal (*initial carbon stock*);

$$\begin{aligned}
 \text{Initial Carbon Stock} &= \text{Peat Volume} * \text{Carbon Content} * \text{BD} * \text{Carbon Ratio} \\
 &= 36070401.79 * 50\% * 0.15 * 3.67 \\
 &= 6.60 \text{ Mton CO}_2
 \end{aligned}$$

- Siapkan parameter lainnya yang diperlukan, yaitu:

- a. Luas wilayah (*area* – 19.06 Mm²);
- b. Elevasi lahan gambut awal rerata (*initial average peat surface level* – 5.065 m);
- c. Kedalaman saluran awal rerata (*initial canal bottom depth* – 1.33 m);
- d. Elevasi muka air musim kering (*dry season river level* – 0.99 m);
- e. Kandungan karbon gambut dangkal (*carbon content shallow peat* – 50%);
- f. Kandungan oksidasi karbon gambut (*carbon content oxidation* – 80%);
- g. *Bulk density* karbon kering (*dry bulk density* – 0.15 g/cm³);

Dikarenakan ketebalan gambut pada kawasan studi memiliki rata-rata sebesar 1.876 m, sehingga untuk ketebalan 0-2 m memiliki nilai *bulk density* sebesar 0.15 g/cm³.

h. Rasio karbon (*carbon ratio* – 3.67);

i. Kedalaman air tanah awal (*ground water depth start* – 0.4 m)

- Hitunglah elevasi air tanah minimum (*ground water level minimum* - m);

$$\begin{aligned} \text{GWL minimum (m)} &= \text{initial average peat surface level} - \text{initial canal} \\ &\quad \text{bottom depth} \\ &= 5.065 - 1.327 \\ &= 3.74 \text{ m} \end{aligned}$$

- Tentukan kedalaman air tanah akhir (*ground water depth end* – 0,0 m);

- Hitunglah laju penurunan gambut awal (*subsidence start* – m/y);

$$\begin{aligned} \text{Subsidence start (m/y)} &= 0.015 + 0.0498 * \text{GWD start} \\ &= 0.015 + (0.0498 * 0.4) \\ &= 0.035 \text{ m/y} \end{aligned}$$

- Hitunglah laju penurunan gambut akhir (*subsidence end* – m/y);

$$\begin{aligned} \text{Subsidence end (m/y)} &= 0.015 + 0.0498 * \text{GWD end} \\ &= 0.015 + (0.0498 * 0.0) \\ &= 0.015 \text{ m/y} \end{aligned}$$

- Langkah selanjutnya hitunglah perkiraan karbon emisi setiap tahunnya selama 50 tahun kedepan. Berikut merupakan hasil perhitungannya;

Tabel 1.18 Emisi Karbon di Kawasan Sei Ahas Selama 50 Tahun (*Actual Situation*)

Year	Peat stock	Average Surface Level	GWL	GWD	Subsidence	Emission
	(MtonCO ₂)	(m)	(m)	(m)	(m)	(MtonCO ₂ /y)
0	6.60	5.07	4.67	0.40	0.035	0.147
1	6.45	5.03	4.63	0.40	0.035	0.147
2	6.31	5.00	4.60	0.40	0.035	0.147
3	6.16	4.96	4.56	0.40	0.035	0.147
4	6.01	4.93	4.53	0.40	0.035	0.147
5	5.87	4.89	4.49	0.40	0.035	0.147
6	5.72	4.86	4.46	0.40	0.035	0.147
7	5.57	4.82	4.42	0.40	0.035	0.147
8	5.43	4.79	4.39	0.40	0.035	0.147
9	5.28	4.75	4.35	0.40	0.035	0.147
10	5.13	4.72	4.32	0.40	0.035	0.147
11	4.99	4.68	4.28	0.40	0.035	0.147
12	4.84	4.65	4.25	0.40	0.035	0.147
13	4.69	4.61	4.21	0.40	0.035	0.147
14	4.55	4.58	4.18	0.40	0.035	0.147
15	4.40	4.54	4.14	0.40	0.035	0.147
16	4.26	4.51	4.11	0.40	0.035	0.147
17	4.11	4.47	4.07	0.40	0.035	0.147
18	3.96	4.44	4.04	0.40	0.035	0.147
19	3.82	4.40	4.00	0.40	0.035	0.147
20	3.67	4.37	3.97	0.40	0.035	0.147
21	3.52	4.33	3.93	0.40	0.035	0.147
22	3.38	4.30	3.90	0.40	0.035	0.147
23	3.23	4.26	3.86	0.40	0.035	0.147
24	3.08	4.23	3.83	0.40	0.035	0.147
25	2.94	4.19	3.79	0.40	0.035	0.147
26	2.79	4.16	3.76	0.40	0.035	0.147
27	2.64	4.12	3.74	0.38	0.034	0.143
28	2.50	4.09	3.74	0.35	0.032	0.136
29	2.36	4.06	3.74	0.32	0.031	0.129
30	2.23	4.02	3.74	0.29	0.029	0.123
31	2.11	4.00	3.74	0.26	0.028	0.117
32	1.99	3.97	3.74	0.23	0.026	0.111
33	1.88	3.94	3.74	0.20	0.025	0.105
34	1.78	3.92	3.74	0.18	0.024	0.100
35	1.68	3.89	3.74	0.15	0.023	0.095
36	1.58	3.87	3.74	0.13	0.022	0.090
37	1.49	3.85	3.74	0.11	0.020	0.086
38	1.41	3.83	3.74	0.09	0.019	0.082
39	1.32	3.81	3.74	0.07	0.018	0.078
40	1.25	3.79	3.74	0.05	0.018	0.074
41	1.17	3.77	3.74	0.03	0.017	0.070
42	1.10	3.76	3.74	0.02	0.016	0.067
43	1.04	3.74	3.74	0.00	0.015	0.063
44	0.97	3.72	3.72	0.00	0.015	0.063
45	0.91	3.71	3.71	0.00	0.015	0.063
46	0.85	3.69	3.69	0.00	0.015	0.063
47	0.78	3.68	3.68	0.00	0.015	0.063
48	0.72	3.66	3.66	0.00	0.015	0.063
49	0.66	3.65	3.65	0.00	0.015	0.063
50	0.60	3.63	3.63	0.00	0.015	0.063

- Hitunglah total emisi karbon selama 50 tahun (*total carbon emission – Mton CO₂/year*);
Total carbon emission (Mton CO₂/year) = 5.28 Mton CO₂/year
- Diketahui emisi karbon tahun pertama (*carbon emission year 1 – Mton CO₂/year*);
Carbon emission year 1 (Mton CO₂/year) = 0.147 Mton CO₂/year
- Diketahui emisi karbon tahun ke-50 (*carbon emission year 50 – Mton CO₂/year*).
Carbon emission year 50 (Mton CO₂/year) = 0.063 Mton CO₂/year

B. Kondisi Pengembangan Perkebunan (*Autonomous Development - Plantation*)

- Hitunglah cadangan karbon awal (*initial carbon stock*);
*Initial Carbon Stock = Peat Volume*Carbon Content*BD*Carbon Ratio*
*= 36070401.79*50%*0.15*3.67*
= 6.60 Mton CO₂
- Siapkan parameter lainnya yang diperlukan, yaitu:
 - a. Luas wilayah (*area – 19.06 m²*);
 - b. Elevasi lahan gambut awal rerata (*initial average peat surface level – 5.065 m*);
 - c. Kedalaman saluran awal rerata (*initial canal bottom depth – 1.33 m*);
 - d. Elevasi muka air musim kering (*dry season river level – 0.99 m*);
 - e. Kandungan karbon gambut dangkal (*carbon content shallow peat – 50%*);
 - f. Kandungan oksidasi karbon gambut (*carbon content oxidation – 80%*);
 - g. *Bulk density* karbon kering (*dry bulk density – 0.15 g/cm³*);
Dikarenakan ketebalan gambut pada kawasan studi memiliki rata-rata sebesar 1.876 m, sehingga untuk ketebalan 0-2 m memiliki nilai *bulk density* sebesar 0.15 g/cm³.
 - h. Rasio karbon (*carbon ratio – 3.67*);
 - i. Kedalaman air tanah awal (*ground water depth start – 0.8 m*)
- Hitunglah elevasi air tanah minimum (*ground water level minimum - m*);

Untuk scenario ini elevasi air tanah minimum sama dengan elevasi muka air musim kering, yaitu 0.99 m.

- Tentukan kedalaman air tanah akhir (*ground water depth end* – 0,0 m);
- Hitunglah laju penurunan gambut awal (*subsidence start* – m/y);

$$\begin{aligned} \text{Subsidence start (m/y)} &= 0.015+0.0498*\text{GWD start} \\ &= 0.015+(0.0498*0.8) \\ &= 0.055 \text{ m/y} \end{aligned}$$

- Hitunglah laju penurunan gambut akhir (*subsidence end* – m/y);

$$\begin{aligned} \text{Subsidence end (m/y)} &= 0.015+0.0498*\text{GWD end} \\ &= 0.015+(0.0498*0.0) \\ &= 0.015 \text{ m/y} \end{aligned}$$

- Langkah selanjutnya hitunglah perkiraan karbon emisi setiap tahunnya selama 50 tahun kedepan. Berikut merupakan hasil perhitungannya;

Tabel 1.19 Emisi Karbon di Kawasan Sei Ahas Selama 50 Tahun (*Autonomous Development - Plantation*)

Year	Peat stock	Average Surface Level	GWL	GWD	Subsidence	Emission
	(MtonCO ₂)	(m)	(m)	(m)	(m)	(MtonCO ₂ /y)
0	6.60	5.07	4.27	0.80	0.055	0.230
1	6.37	5.01	4.21	0.80	0.055	0.230
2	6.14	4.96	4.16	0.80	0.055	0.230
3	5.91	4.90	4.10	0.80	0.055	0.230
4	5.68	4.85	4.05	0.80	0.055	0.230
5	5.45	4.79	3.99	0.80	0.055	0.230
6	5.22	4.74	3.94	0.80	0.055	0.230
7	4.99	4.68	3.88	0.80	0.055	0.230
8	4.76	4.63	3.83	0.80	0.055	0.230
9	4.53	4.57	3.77	0.80	0.055	0.230
10	4.30	4.52	3.72	0.80	0.055	0.230
11	4.07	4.46	3.66	0.80	0.055	0.230
12	3.84	4.41	3.61	0.80	0.055	0.230
13	3.61	4.35	3.55	0.80	0.055	0.230
14	3.38	4.30	3.50	0.80	0.055	0.230
15	3.15	4.24	3.44	0.80	0.055	0.230
16	2.92	4.19	3.39	0.80	0.055	0.230
17	2.69	4.13	3.33	0.80	0.055	0.230
18	2.46	4.08	3.28	0.80	0.055	0.230
19	2.23	4.02	3.22	0.80	0.055	0.230
20	2.00	3.97	3.17	0.80	0.055	0.230
21	1.77	3.91	3.11	0.80	0.055	0.230
22	1.54	3.86	3.06	0.80	0.055	0.230
23	1.31	3.80	3.00	0.80	0.055	0.230
24	1.08	3.75	2.95	0.80	0.055	0.230
25	0.85	3.69	2.89	0.80	0.055	0.230
26	0.62	3.64	2.84	0.80	0.055	0.230
27	0.39	3.58	2.78	0.80	0.055	0.230
28	0.16	3.53	2.73	0.80	0.055	0.155
29	0.00	3.47	2.67	0.80	0.055	0.000
30	0.00	3.42	2.62	0.80	0.055	0.000
31	0.00	3.36	2.56	0.80	0.055	0.000
32	0.00	3.31	2.51	0.80	0.055	0.000
33	0.00	3.26	2.46	0.80	0.055	0.000
34	0.00	3.20	2.40	0.80	0.055	0.000
35	0.00	3.15	2.35	0.80	0.055	0.000
36	0.00	3.09	2.29	0.80	0.055	0.000
37	0.00	3.04	2.24	0.80	0.055	0.000
38	0.00	2.98	2.18	0.80	0.055	0.000
39	0.00	2.93	2.13	0.80	0.055	0.000
40	0.00	2.87	2.07	0.80	0.055	0.000
41	0.00	2.82	2.02	0.80	0.055	0.000
42	0.00	2.76	1.96	0.80	0.055	0.000
43	0.00	2.71	1.91	0.80	0.055	0.000
44	0.00	2.65	1.85	0.80	0.055	0.000
45	0.00	2.60	1.80	0.80	0.055	0.000
46	0.00	2.54	1.74	0.80	0.055	0.000
47	0.00	2.49	1.69	0.80	0.055	0.000
48	0.00	2.43	1.63	0.80	0.055	0.000
49	0.00	2.38	1.58	0.80	0.055	0.000
50	0.00	2.32	1.52	0.80	0.055	0.000

- Hitunglah total emisi karbon selama 50 tahun (*total carbon emission* – Mton CO₂/year);
Total carbon emission (Mton CO₂/year) = 6.60 Mton CO₂/year
- Tentukan emisi karbon tahun pertama (*carbon emission year 1* – Mton CO₂/year);
Carbon emission year 1 (Mton CO₂/year) = 0.230 Mton CO₂/year
- Tentukan emisi karbon tahun ke-50 (*carbon emission year 50* – Mton CO₂/year);
Carbon emission year 50 (Mton CO₂/year) = 0.000 Mton CO₂/year

C. Kondisi Adanya Bendungan (*Canal Blocking*)

- Hitunglah cadangan karbon awal (*initial carbon stock*);
Initial Carbon Stock = *Peat Volume***Carbon Content***BD***Carbon Ratio*
= 36070401.79*50%*0.15*3.67
= 6.60 Mton CO₂
- Siapkan parameter lainnya yang diperlukan, yaitu:
 - a. Luas wilayah (*area* – 19.06 m²);
 - b. Elevasi lahan gambut awal rerata (*initial average peat surface level* – 5.065 m);
 - c. Kedalaman saluran awal rerata (*initial canal bottom depth* – 1.33 m);
 - d. Elevasi muka air musim kering (*dry season river level* – 0.99 m);
 - e. Kandungan karbon gambut dangkal (*carbon content shallow peat* – 50%);
 - f. Kandungan oksidasi karbon gambut (*carbon content oxidation* – 80%);
 - g. *Bulk density* karbon kering (*dry bulk density* – 0.15 g/cm³);
Dikarenakan ketebalan gambut pada kawasan studi memiliki rata-rata sebesar 1.876 m, sehingga untuk ketebalan 0-2 m memiliki nilai *bulk density* sebesar 0.15 g/cm³.
 - h. Rasio karbon (*carbon ratio* – 3.67);
 - i. Kedalaman air tanah awal (*ground water depth start* – 0.3 m)

- Hitunglah elevasi air tanah minimum (*ground water level minimum - m*);

$$\begin{aligned} \text{GWL minimum (m)} &= \text{initial average peat surface level} - \text{ground water} \\ &\quad \text{depth start} \\ &= 5.065 - 0.3 \\ &= 4.77 \text{ m} \end{aligned}$$
- Tentukan kedalaman air tanah akhir (*ground water depth end – 0,0 m*);
- Hitunglah laju penurunan gambut awal (*subsidence start – m/y*);

$$\begin{aligned} \text{Subsidence start (m/y)} &= 0.015 + 0.0498 * \text{GWD start} \\ &= 0.015 + (0.0498 * 0.3) \\ &= 0.030 \text{ m/y} \end{aligned}$$
- Hitunglah laju penurunan gambut akhir (*subsidence end – m/y*);

$$\begin{aligned} \text{Subsidence end (m/y)} &= 0.015 + 0.0498 * \text{GWD end} \\ &= 0.015 + (0.0498 * 0.0) \\ &= 0.015 \text{ m/y} \end{aligned}$$

- Langkah selanjutnya hitunglah perkiraan karbon emisi setiap tahunnya selama 50 tahun kedepan. Berikut merupakan hasil perhitungannya;

Tabel 1.20 Emisi Karbon di Kawasan Sei Ahas Selama 50 Tahun (*Canal Blocking*)

Year	Peat stock	Average Surface Level	GWL	GWD	Subsidence	Emission
	(MtonCO ₂)	(m)	(m)	(m)	(m)	(MtonCO ₂ /y)
0	6.60	5.07	4.77	0.30	0.030	0.126
1	6.47	5.04	4.77	0.27	0.028	0.119
2	6.35	5.01	4.77	0.24	0.027	0.113
3	6.24	4.98	4.77	0.21	0.026	0.108
4	6.13	4.95	4.77	0.19	0.024	0.102
5	6.03	4.93	4.77	0.16	0.023	0.097
6	5.93	4.91	4.77	0.14	0.022	0.092
7	5.84	4.88	4.77	0.12	0.021	0.088
8	5.75	4.86	4.77	0.10	0.020	0.084
9	5.67	4.84	4.77	0.08	0.019	0.079
10	5.59	4.82	4.77	0.06	0.018	0.075
11	5.52	4.81	4.77	0.04	0.017	0.072
12	5.44	4.79	4.77	0.02	0.016	0.068
13	5.38	4.77	4.77	0.01	0.015	0.065
14	5.31	4.76	4.76	0.00	0.015	0.063
15	5.25	4.74	4.74	0.00	0.015	0.063
16	5.18	4.73	4.73	0.00	0.015	0.063
17	5.12	4.71	4.71	0.00	0.015	0.063
18	5.06	4.70	4.70	0.00	0.015	0.063
19	5.00	4.68	4.68	0.00	0.015	0.063
20	4.93	4.67	4.67	0.00	0.015	0.063
21	4.87	4.65	4.65	0.00	0.015	0.063
22	4.81	4.64	4.64	0.00	0.015	0.063
23	4.74	4.62	4.62	0.00	0.015	0.063
24	4.68	4.61	4.61	0.00	0.015	0.063
25	4.62	4.59	4.59	0.00	0.015	0.063
26	4.56	4.58	4.58	0.00	0.015	0.063
27	4.49	4.56	4.56	0.00	0.015	0.063
28	4.43	4.55	4.55	0.00	0.015	0.063
29	4.37	4.53	4.53	0.00	0.015	0.063
30	4.30	4.52	4.52	0.00	0.015	0.063
31	4.24	4.50	4.50	0.00	0.015	0.063
32	4.18	4.49	4.49	0.00	0.015	0.063
33	4.11	4.47	4.47	0.00	0.015	0.063
34	4.05	4.46	4.46	0.00	0.015	0.063
35	3.99	4.44	4.44	0.00	0.015	0.063
36	3.93	4.43	4.43	0.00	0.015	0.063
37	3.86	4.41	4.41	0.00	0.015	0.063
38	3.80	4.40	4.40	0.00	0.015	0.063
39	3.74	4.38	4.38	0.00	0.015	0.063
40	3.67	4.37	4.37	0.00	0.015	0.063
41	3.61	4.35	4.35	0.00	0.015	0.063
42	3.55	4.34	4.34	0.00	0.015	0.063
43	3.49	4.32	4.32	0.00	0.015	0.063
44	3.42	4.31	4.31	0.00	0.015	0.063
45	3.36	4.29	4.29	0.00	0.015	0.063
46	3.30	4.28	4.28	0.00	0.015	0.063
47	3.23	4.26	4.26	0.00	0.015	0.063
48	3.17	4.25	4.25	0.00	0.015	0.063
49	3.11	4.23	4.23	0.00	0.015	0.063
50	3.04	4.22	4.22	0.00	0.015	0.063

- Hitunglah total emisi karbon selama 50 tahun (*total carbon emission – Mton CO₂/year*);
Total carbon emission (Mton CO₂/year) = 3.62 Mton CO₂/year
- Tentukan emisi karbon tahun pertama (*carbon emission year 1 – Mton CO₂/year*);
Carbon emission year 1 (Mton CO₂/year) = 0.126 Mton CO₂/year
- Tentukan emisi karbon tahun ke-50 (*carbon emission year 50 – Mton CO₂/year*);
Carbon emission year 50 (Mton CO₂/year) = 0.063 Mton CO₂/year

D. Kondisi Adanya Bendungan dan Penghutanan Kembali (*Canal Blocking and Reforestation*)

- Hitunglah cadangan karbon awal (*initial carbon stock*);
*Initial Carbon Stock = Peat Volume*Carbon Content*BD*Carbon Ratio*
*= 36070401.79*50%*0.15*3.67*
= 6.60 Mton CO₂
- Siapkan parameter lainnya yang diperlukan, yaitu:
 - a. Luas wilayah (*area – 19.06 m²*);
 - b. Elevasi lahan gambut awal rerata (*initial average peat surface level – 5.065 m*);
 - c. Kedalaman saluran awal rerata (*initial canal bottom depth – 1.33 m*);
 - d. Elevasi muka air musim kering (*dry season river level – 0.99 m*);
 - e. Kandungan karbon gambut dangkal (*carbon content shallow peat – 50%*);
 - f. Kandungan oksidasi karbon gambut (*carbon content oxidation – 80%*);
 - g. *Bulk density* karbon kering (*dry bulk density – 0.15 g/cm³*);
Dikarenakan ketebalan gambut pada kawasan studi memiliki rata-rata sebesar 1.876 m, sehingga untuk ketebalan 0-2 m memiliki nilai *bulk density* sebesar 0.15 g/cm³.
 - h. Rasio karbon (*carbon ratio – 3.67*);
 - i. Kedalaman air tanah awal (*ground water depth start – 0.3 m*)
- Hitunglah elevasi air tanah minimum (*ground water level minimum - m*);
GWL minimum (m) = initial average peat surface level – ground water depth start

$$= 5.065 - 0.30$$

$$= 4.77 \text{ m}$$

- Tentukan kedalaman air tanah akhir (*ground water depth end* – 0,0 m);
- Hitunglah laju penurunan gambut awal (*subsidence start* – m/y);

$$\textit{Subsidence start (m/y)} = 0.0706 * \textit{GWD start}$$

$$= 0.0706 * 0.3$$

$$= 0.021 \text{ m/y}$$

- Hitunglah laju penurunan gambut akhir (*subsidence end* – m/y);

$$\textit{Subsidence end (m/y)} = 0.0706 * \textit{GWD end}$$

$$= 0.0706 * 0.0$$

$$= 0.000 \text{ m/y}$$

- Langkah selanjutnya hitunglah perkiraan karbon emisi setiap tahunnya selama 50 tahun kedepan. Berikut merupakan hasil perhitungannya;

Tabel 1.21 Emisi Karbon di Kawasan Sei Ahas Selama 50 Tahun (*Canal Blocking and Resforestation*)

Year	Peat stock	Average Surface Level	GWL	GWD	Subsidence	Emission
	(MtonCO ₂)	(m)	(m)	(m)	(m)	(MtonCO ₂ /y)
0	6.60	5.07	4.77	0.30	0.021	0.089
1	6.51	5.04	4.77	0.28	0.020	0.083
2	6.43	5.02	4.77	0.26	0.018	0.077
3	6.35	5.01	4.77	0.24	0.017	0.071
4	6.28	4.99	4.77	0.22	0.016	0.066
5	6.21	4.97	4.77	0.21	0.015	0.062
6	6.15	4.96	4.77	0.19	0.014	0.057
7	6.10	4.94	4.77	0.18	0.013	0.053
8	6.04	4.93	4.77	0.17	0.012	0.049
9	5.99	4.92	4.77	0.16	0.011	0.046
10	5.95	4.91	4.77	0.14	0.010	0.043
11	5.90	4.90	4.77	0.13	0.009	0.040
12	5.86	4.89	4.77	0.12	0.009	0.037
13	5.83	4.88	4.77	0.12	0.008	0.034
14	5.79	4.87	4.77	0.11	0.008	0.032
15	5.76	4.87	4.77	0.10	0.007	0.030
16	5.73	4.86	4.77	0.09	0.007	0.028
17	5.70	4.85	4.77	0.09	0.006	0.026
18	5.68	4.85	4.77	0.08	0.006	0.024
19	5.65	4.84	4.77	0.07	0.005	0.022
20	5.63	4.83	4.77	0.07	0.005	0.021
21	5.61	4.83	4.77	0.06	0.005	0.019
22	5.59	4.82	4.77	0.06	0.004	0.018
23	5.57	4.82	4.77	0.06	0.004	0.017
24	5.56	4.82	4.77	0.05	0.004	0.015
25	5.54	4.81	4.77	0.05	0.003	0.014
26	5.53	4.81	4.77	0.04	0.003	0.013
27	5.52	4.81	4.77	0.04	0.003	0.012
28	5.50	4.80	4.77	0.04	0.003	0.011
29	5.49	4.80	4.77	0.04	0.003	0.011
30	5.48	4.80	4.77	0.03	0.002	0.010
31	5.47	4.80	4.77	0.03	0.002	0.009
32	5.46	4.79	4.77	0.03	0.002	0.009
33	5.45	4.79	4.77	0.03	0.002	0.008
34	5.45	4.79	4.77	0.02	0.002	0.007
35	5.44	4.79	4.77	0.02	0.002	0.007
36	5.43	4.79	4.77	0.02	0.002	0.006
37	5.42	4.78	4.77	0.02	0.001	0.006
38	5.42	4.78	4.77	0.02	0.001	0.006
39	5.41	4.78	4.77	0.02	0.001	0.005
40	5.41	4.78	4.77	0.02	0.001	0.005
41	5.40	4.78	4.77	0.01	0.001	0.004
42	5.40	4.78	4.77	0.01	0.001	0.004
43	5.39	4.78	4.77	0.01	0.001	0.004
44	5.39	4.78	4.77	0.01	0.001	0.004
45	5.39	4.78	4.77	0.01	0.001	0.003
46	5.38	4.78	4.77	0.01	0.001	0.003
47	5.38	4.77	4.77	0.01	0.001	0.003
48	5.38	4.77	4.77	0.01	0.001	0.003
49	5.38	4.77	4.77	0.01	0.001	0.002
50	5.37	4.77	4.77	0.01	0.001	0.002

- Hitunglah total emisi karbon selama 50 tahun (*total carbon emission* – Mton CO₂/year);
Total carbon emission (Mton CO₂/year) = 1.23 Mton CO₂/year
- Tentukan emisi karbon tahun pertama (*carbon emission year 1* – Mton CO₂/year);
Carbon emission year 1 (Mton CO₂/year) = 0.089 Mton CO₂/year
- Tentukan emisi karbon tahun ke-50 (*carbon emission year 50* – Mton CO₂/year);
Carbon emission year 50 (Mton CO₂/year) = 0.002 Mton CO₂/year