

Mitigasi Areal Banjir Pada Perkebunan Kelapa Sawit di Lahan Gambut Berdasarkan Pemodelan HEC-RAS 2D

Flood Mitigation of Peatlands on Oil Palm Plantation Based on HEC-RAS 2D Model

Henny Lydiasari dan Heri Santoso

Abstrak Pengembangan perkebunan kelapa sawit di areal rawa dengan tanah gambut semakin meluas dan merupakan tantangan terbesar dalam pengelolaannya. Drainase yang sangat terhambat menjadi salah satu faktor pembatas yang mempengaruhi kondisi hidrologi lahan. Kajian hidrologi ini dilakukan di salah satu perkebunan kelapa sawit Kabupaten Tapanuli Selatan Propinsi Sumatera Utara yang mengalami banjir secara periodik. Pemodelan hidrolika pada kajian ini dilakukan dalam dua skenario yaitu kondisi aktual dan redesign dengan parameter yang dibutuhkan antara lain topografi lahan, klimatologi, dan hidrologi sebagai input dalam simulasi. Pemodelan hidrolika ini untuk mensimulasikan kondisi aktual kanal dan penerapan mitigasi permasalahan banjir dengan pembuatan tanggul menggunakan HEC-RAS 2D. Hasil simulasi menunjukkan bahwa banjir terjadi sebagai akibat luapan air Aek Sibirong yang mempengaruhi kondisi kanal dalam kebun yang terkoneksi dengan sungai tersebut. Berdasarkan simulasi, penerapan tanggul setinggi 1.15 m - 3.45 m pada bagian hulu dan 1.10 m - 3 m pada bagian hilir mampu mengatasi luapan air sehingga dapat mencegah terjadinya banjir pada areal kebun.

Kata kunci: gambut, tanggul, banjir, HEC-RAS 2D

Abstract *The development of oil palm plantations on peat swamp land is increasingly widespread and is the*

Penulis yang tidak disertai dengan catatan kaki instansi adalah peneliti pada Pusat Penelitian Kelapa Sawit

Henny Lydiasari (✉)
Pusat Penelitian Kelapa Sawit
Jl. Brigjen Katamso No. 51 Medan 20158

Email: henny_lydiasari@yahoo.com

biggest challenge in its management. Severely obstructed drainage is one of the limiting factors affecting the hydrological conditions of the land. This hydrological study was conducted in one of the oil palm plantations in Muara Batang Toru districts, North Sumatra Province which experiences periodic flooding. The hydrological modeling was carried out in 2 scenarios: the existing condition and the redesign with the required parameters, including land topography, climate, and hydrology as input in the simulation. This hydrological modeling simulates the existing condition of drainage canals and the application of flood problem mitigation by making levee using HEC-RAS 2D. The simulation results show that flooding occurs due to the overflow of the Aek Sibirong River, which affects the condition of the drainage channel in plantation connected to the river. As Simulation, applying levee as high as 1.15 m to 3.45 m upstream and 1.10 m to 3 m downstream can overcome the overflow to prevent flooding in the plantation area.

Keywords: *peatland, levee, flood, HEC-RAS 2D*

PENDAHULUAN

Lahan gambut merupakan salah satu lahan yang dimanfaatkan untuk pengembangan kelapa sawit. Umumnya lahan jenis ini terdapat pada cekungan dua sungai besar yang terbentuk dari pelapukan bahan organik. Kemampuan lahan gambut dalam menyimpan air menjadikan lahan ini dapat dimanfaatkan sebagai pencegah banjir pada musim hujan dan melepas air secara perlahan ke kawasan sekitarnya pada musim kemarau (Harsono, 2012). Namun pembukaan perkebunan kelapa sawit di lahan gambut dengan penerapan pembuatan drainase dapat mempengaruhi hidrologi gambut. Menurut Dariah dan Nurzakiah (2014), kondisi muka air tanah yang

terlalu dangkal dapat menyebabkan aerasi buruk dan kandungan asam organik yang tinggi berdampak pada pertumbuhan tanaman namun jika kondisi muka air yang terlalu dalam mengakibatkan gambut mengalami kekeringan hingga mengalami kering tak balik (*irreversible drying*). Sedangkan jika terjadi banjir berkepanjangan, akar bisa mati, serapan air mungkin terganggu, dengan efek yang mirip dengan kekeringan (penutupan stomata), serapan nitrogen mungkin juga terbatas, dan telapak tangan yang tergenang air sering kali tampak kekurangan nitrogen (Corley dan Tinker, 2015). Selain drainase, faktor pembatas lahan gambut lainnya yaitu salinitas yang tinggi, potensi kandungan pirit, kedalaman dan kematangan gambut, serta investasi yang lebih besar untuk pembangunan infrastruktur menjadi permasalahan yang krusial dalam pengembangan perkebunan kelapa sawit (Winarna *et al.*, 2017).

Tipologi lahan dibedakan berdasarkan jenis luapan yaitu jenis lahan aluvial bersulfida dangkal bergambut (luapan tipe A), jenis gambut dangkal (luapan tipe B), jenis gambut sedang (luapan tipe C), dan jenis gambut dalam (luapan tipe B/C) Suriadikarta dan Sutriadi (2007). Selain luapan, kondisi hidrologi lahan gambut ini tidak terlepas dari pengaruh iklim, vegetasi, dan pengaruh pasang surut. Dalam aktivitas yang mendukung kegiatan produksi di perkebunan kelapa sawit, juga diharuskan menjaga kelestarian gambut. Oleh karena itu dibutuhkan perencanaan sistem tata kelola air yang efektif seperti penyesuaian kapasitas tampung kanal, pemasangan *drain block*, penerapan tanggul, dan pintu air.

Terdapat dua metode dalam pengendalian banjir ada dua metode yaitu metode struktur seperti normalisasi alur sungai dan tanggul, pembuatan sudetan, lapisan pelindung lereng dan metode non struktur (Arbaningrum, 2015) melalui pemberian memberikan ruang untuk resapan air melalui memberikan ruang untuk resapan air. Pada Kajian ini bertujuan untuk mitigasi areal pada perkebunan kelapa sawit di lahan gambut yang mengalami banjir secara periodik dengan pembuatan tanggul melalui pemodelan hidraulika HEC-RAS 2D (The US Army Corps of Engineers, 2021).

BAHAN DAN METODE

Waktu dan Lokasi Penelitian

Pengamatan dilakukan pada November 2018 dengan lokasi kajian ini pada perkebunan kelapa sawit di Kecamatan Muara Batang Toru, Kabupaten Tapanuli Selatan, Sumatera Utara dengan sebagian besar berupa lahan basah gambut pantai sebesar 67% dengan kedalaman 1 – 2 m, sedangkan sebagian lainnya berupa lahan kering dengan struktur tanah liat, pasir, dan debu sebesar 33% (Febriano, 2013) dan mempunyai luapan tipe A. Perkebunan kelapa sawit ini mempunyai luas 402,9 Ha terletak pada koordinat 98°51'49.40"BT-98°53'29.63 "BT dan 1°22'35.01"LU-1°25'9.42"LU. Kebun ini dilintasi oleh Aek Siborong yang didominasi oleh tanah gambut (*histosol*) yang lebih matang dan bermuara ke Sungai Batang Toru kemudian ke laut serta membagi wilayah kebun menjadi bagian Utara dan Selatan. Iklim di lokasi ini termasuk dalam wilayah semi monsoon dengan pola hujan berbentuk M dengan dua puncak curah hujan.

Metode

Dalam kajian ini dilakukan melalui 6 tahap yaitu:

Tahap 1. Identifikasi permasalahan dengan data sekunder (desk study, wawancara, dan observasi);

Pada tahap ini dilakukan pengumpulan data sekunder terkait lokasi kebun yaitu data klimatologi dan data hidrologi. Selanjutnya pada saat di lapangan dilakukan diskusi dengan pihak kebun terkait historical banjir yang terjadi dan secara paralel dilakukan overview kondisi kebun. Menurut Rauf *et al.* (2021), survei dan observasi dilakukan untuk penyesuaian komponen yang mempengaruhi debit banjir termasuk parameter hidrometri, karakteristik fisik DAS dan informasi sebagai pendukung dalam analisis.

Tahap 2. Pengukuran data primer di lapangan

Data lapangan yang diukur meliputi pengukuran mikrotopografi dan karakteristik kondisi aktual hidrologi. Pengukuran mikrotopografi dilakukan dengan grid (100x100) meter menggunakan global positioning system real time kinematic (GPS RTK) dan interpolasi titik-titik ketinggian tersebut menjadi digital elevation model (DEM) menggunakan metode kriging (Santoso, 2014; US Geological Survey, 2012), karakteristik hidrologi (pengukuran kecepatan aliran menggunakan alat Flow-Watch dan pengukuran

dimensi aktual kanal dan tanggul yang tersedia dan pengumpulan data pendukung.;

Tahap 3. Analisis Data Klimatologi dan Debit Rencana;

Data klimatologi yang terdiri dari lima unsur yaitu curah hujan, suhu, kelembaban, solar radiasi dan kecepatan angin dianalisis dengan metode Penmann Montheit (ASCE-EWRI, 2005) sehingga diperoleh angka evapotranspirasi. Selanjutnya dengan metode regresi linier dilakukan perhitungan debit sungai rencana berdasarkan data curah hujan (Triadmojo, 2008).

Tahap 4. Pemodelan dengan menggunakan perangkat lunak HEC-RAS 2D

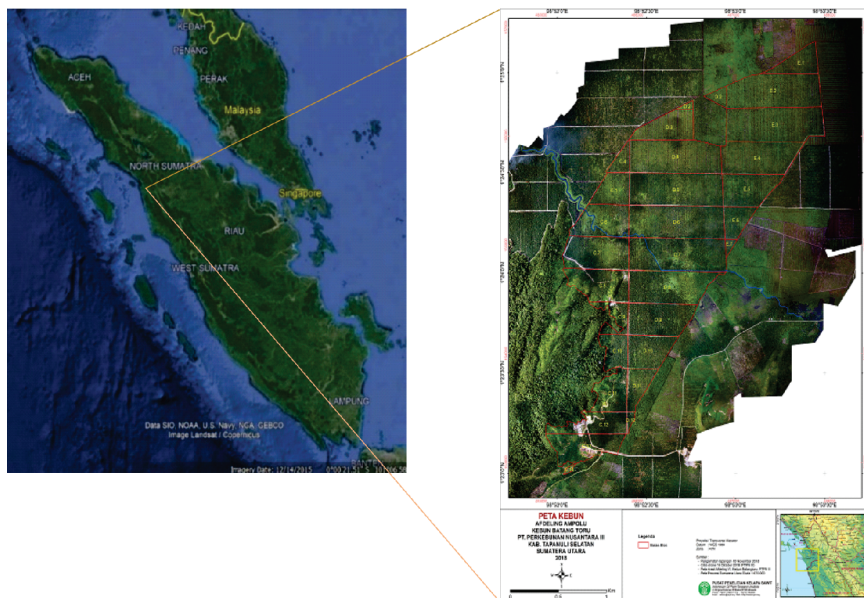
Pada tahap ini dilakukan peniruan sungai dan kanal, selanjutnya diinput data yang telah dianalisis sehingga diperoleh pemodelan hidraulika dari Aek Siborong yang melintasi kebun dan terkoneksi dengan kanal. Model HECRAS 2D mensimulasikan variabilitas hidrologi di sepanjang aliran sungai dengan menggunakan data topografi untuk mendapatkan efektifitas infrastruktur pengendalian banjir melalui tinggi genangan, luas genangan dan lama genangan (Candrayana *et al.*, 2021).

Tahap 5. Pemodelan hidraulika kondisi aktual kebun;

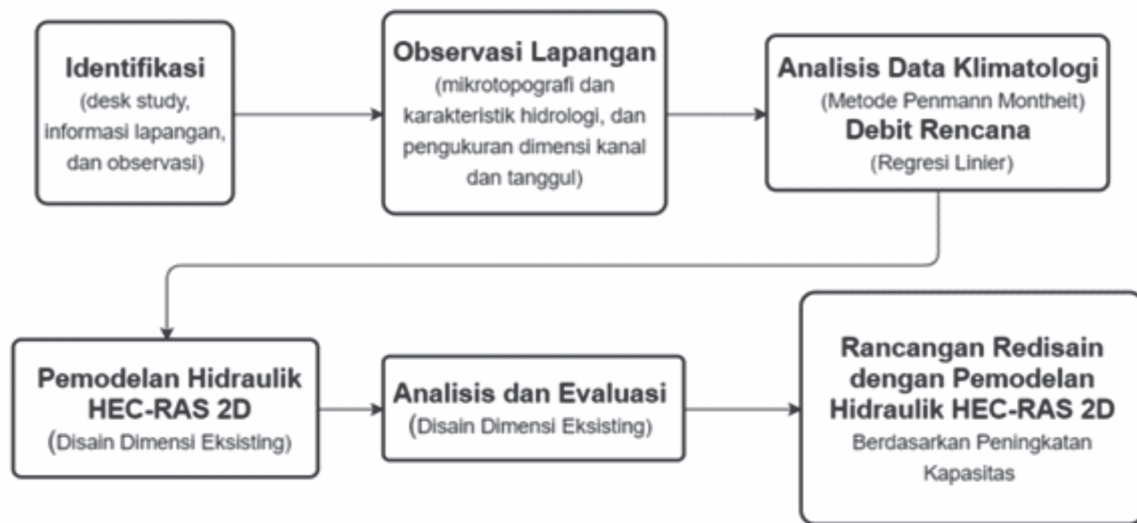
Pemodelan yang diperoleh menggambarkan kondisi aktual kebun dimana dapat diketahui karakteristik, lokasi dan ketinggian banjir dan serta efektifitas tanggul yang tersedia. Berdasarkan penelitian Al Amin *et al.* (2018), mengkaji karakteristik genangan banjir melalui pemodelan hidrodinamika profil sungai dengan HECRAS 5.0, untuk memperoleh simulasi aliran permukaan dengan model aliran 2D dengan menggunakan komponen struktur lateral berupa tanggul.

Tahap 6. Redisain pemodelan hidraulika berdasarkan hasil evaluasi dan perbaikan yang akan diterapkan.

Dilakukan simulasi kembali dengan menerapkan perbaikan kapasitas kanal, tanggul, drain block dan pintu air berdasarkan tinggi dan karakteristik luapan banjir. Kajian yang dilakukan Pratica *et al.* (2020) menunjukkan simulasi ketidakefektifan lebar saluran dan dinding penahan tanah sehingga dimodelkan simulasi dengan pelebaran saluran dan penerapan dinding penahan tanah.



Gambar 1. Lokasi kajian
Figure 1. Study area



Gambar 2. Skema kajian
Figure 2. Schematic of study

HASIL DAN PEMBAHASAN

Studi Area dan Kondisi Lahan

Menurut Soil Survey Staff (2014), tanah histosol memiliki lapisan bahan organik dengan berat jenis dalam keadaan lembab $< 0,1 \text{ g/cm}^3$ dengan tebal $> 60 \text{ cm}$ atau lapisan organik dengan berat jenis $> 0,1 \text{ g/cm}^3$ dengan tebal $> 40 \text{ cm}$. Bahan induk pembentuk tanah ini merupakan bahan organik dan endapan halus pengaruh dari luapan Aek Sibirong pada Kebun Muara Ampolu. Jenis tanah yang ditemukan umumnya didominasi jenis tanah gambut dan sebagian tanah mineral dengan kandungan fraksi pasir yang cukup tinggi.

Observasi Lapangan (Mikrotopografi dan Hidrologi)

Peta mikrotopografi diperoleh melalui pengukuran elevasi dengan menggunakan alat GPS RTK EPOCH 35. Peta tersebut termasuk bagian terpenting dalam menganalisis sistem hidrologi dimana digunakan sebagai data geometri untuk mengetahui tingkat kelandaian kanal, cekungan dan arah aliran air. Sungai yang melewati areal kebun merupakan tributari Aek Sibirong yang bermuara ke

laut. Jarak hilir sungai pada areal kebun ke laut sepanjang 19,34 km (Gambar 3). Hal ini menyebabkan kondisi sungai tidak dipengaruhi oleh pasang surut air laut. Areal kebun yang dilintasi sungai merupakan areal cekungan sehingga menjadi potensi genangan akibat luapan air sungai.

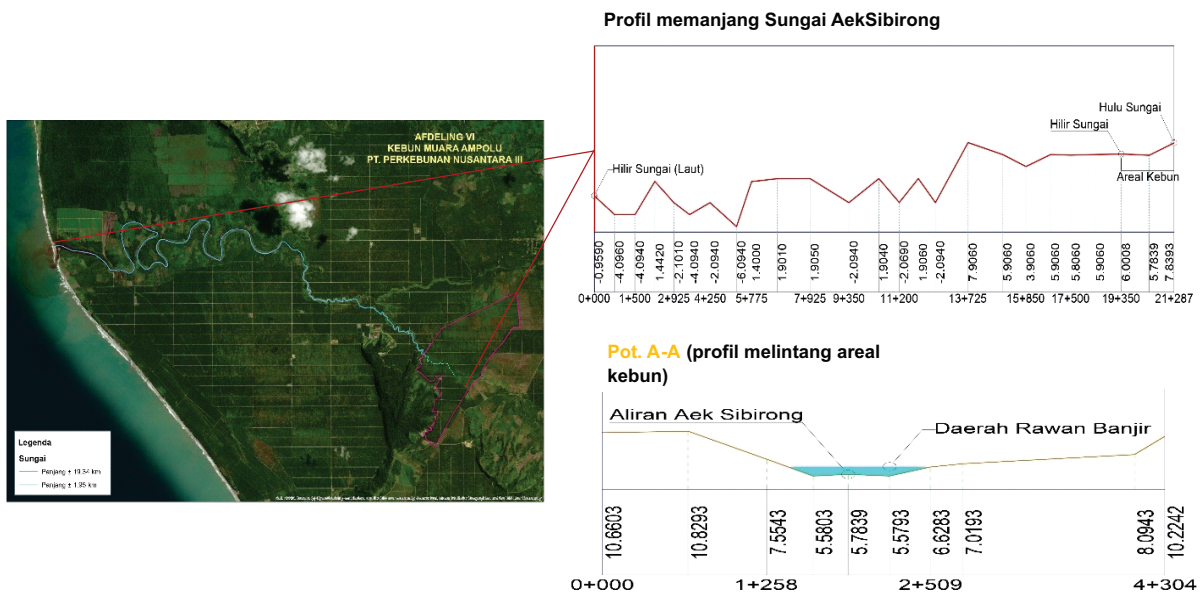
Pada Dalam pengukuran, ditentukan titik acuan (benchmark) sebagai titik koreksi terhadap titik – titik akuisisi dengan GPS lapangan secara real time. Titik – titik yang diambil dengan grid yang lebih kecil sehingga diperoleh gambaran yang lebih detail elevasi lahan. Pemetaan ini diklasifikasikan dalam 4 klasifikasi elevasi antara 5.017 sd 17.947 m dengan beda tinggi dari lahan tersebut berkisar 12.93 m (Gambar 3). Lokasi terendah berada pada bagian tengah areal kebun dimana dilalui oleh Aek Sibirong.

Terjadi luapan sungai pada areal kebun ini yang masuk melalui parit dan juga lahan sehingga memperparah kondisi banjir (Gambar 5). Tanggul yang ada tidak mampu lagi menahan besarnya volume air yang masuk melalui sungai tersebut. Selain itu, keluarnya air juga terhambat karena hilir sungai berada pada kebun perusahaan yang terdapat tanggul digunakan untuk menahan air masuk ke dalam arealnya sehingga air tertahan di areal.

Analisis Klimatologi dan Debit Rencana

Berdasarkan data curah hujan yang diperoleh dari Nasa Power dalam periode Januari 2010 sd Desember 2019 diperoleh rerata curah hujan bulanan tertinggi terjadi pada November sebesar 495.23 mm dan terendah pada Juni sebesar 182.47 mm. Kondisi ini termasuk anomali wilayah dengan curah hujan tinggi yang secara umum salah satunya terdapat pada

daerah pesisir barat Pulau Sumatera. Selain itu, pada wilayah ini tidak terjadidiperoleh bulan kering (< 60 mm/bulan). Sedangkan evapotranspirasi (ET_0) sebesar 64.50 mm sd 78.13 mm masih dibawah dari angka curah hujan yang terjadi seperti ditunjukkan pada Gambar 6. Sehingga kebutuhan air tanaman tercukupi sepanjang tahun namun dibutuhkan pengelolaan untuk kelebihan air sehingga tidak menggenangi areal kebun.



Gambar 3. Karakteristik hidrologi Aek Sibirong
Figure 3. Hydrology characteristic of Aek Sibirong

Dari pengukuran di lapangan diperoleh dimensi aktual kanal primer, sekunder dan tersier aktual dibandingkan dengan kapasitas awal. Kondisi di lapangan kanal mengalami pelebaran namun di beberapa pendangkalan akibat banjir. Hal ini disebabkan air di kanal melebihi kapasitas sehingga menggerus dinding kanal terus - menerus sehingga menjadi runtuh dan pada dasar kanal mengalami pendangkalan akibat sedimen yang dibawa saat banjir terjadi (Tabel 1.).

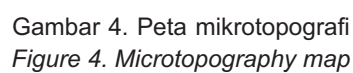
Pengukuran debit sungai yang diperoleh di lapangan sebesar 25.55 m³/s pada musim hujan (November) dan 5.636 m³/s pada musim kemarau (Maret). Analisis debit sungai berdasarkan data curah

hujan selama 10 tahun dengan menggunakan persamaan regresi linear. Debit tertinggi diperoleh pada November sebesar 27.61 m³/s (Gambar 7). Untuk simulasi Aek Sibirong menggunakan data debit tertinggi agar luapan sungai tidak masuk ke areal kebun dan menggerus bagian atas tanggul.

Pemodelan HEC-RAS 2D

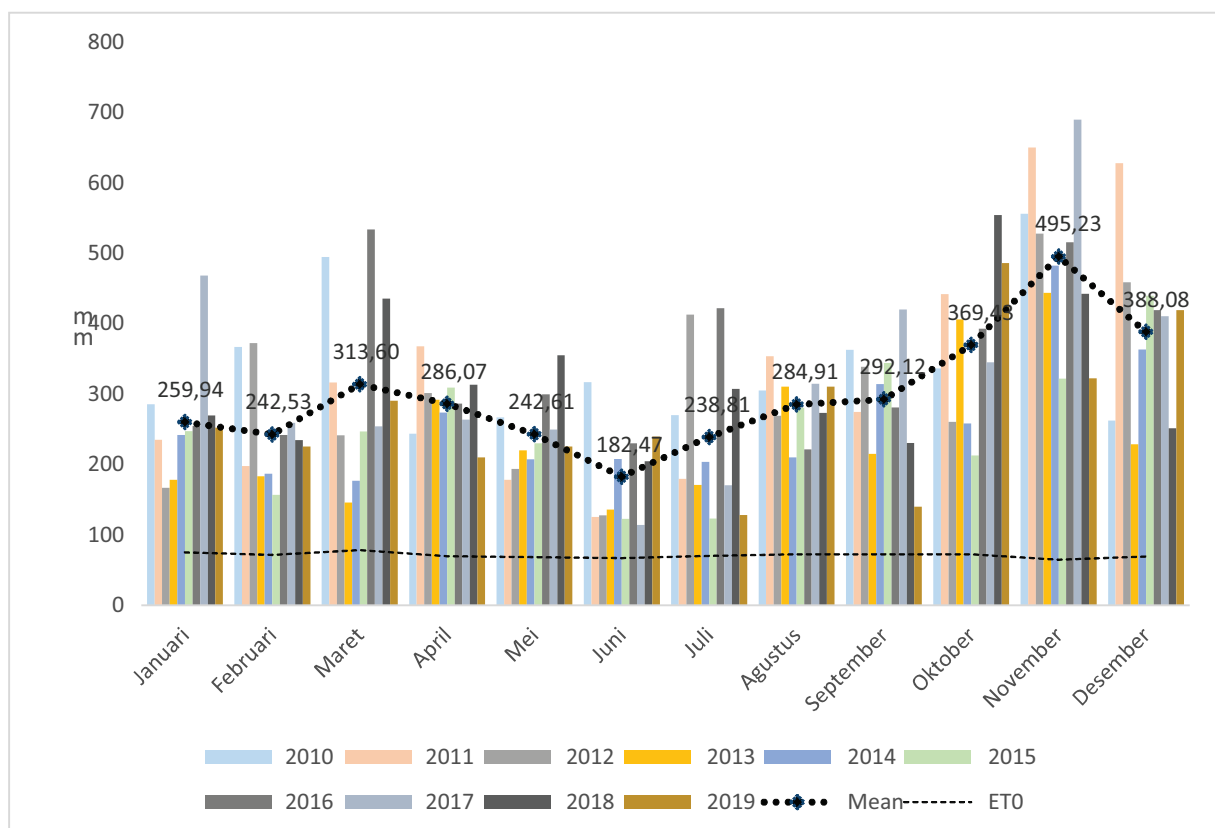
Selanjutnya data – data tersebut diiput ke dalam software HEC-RAS 2D dan disimulasikan kondisi aktual profil sungai dan kanal yang terhubung sehingga fluktuasi tinggi muka air sungai langsung mempengaruhi tinggi air di dalam areal kebun (Gambar 8). Setelah diperoleh hasil simulasi, maka

atau muka air kanal melebihi tinggi kanal. Aplikasi tanggul diterapkan pada border Blok D7, Blok D8, Blok D9 dan Blok C6. Selain itu juga diaplikasikan tanggul pada Blok C6 dan juga sepanjang sisi kanan dan kiri Aek Sibirong.





Gambar 5. Kondisi lahan banjir
Figure 5. Flood area condition



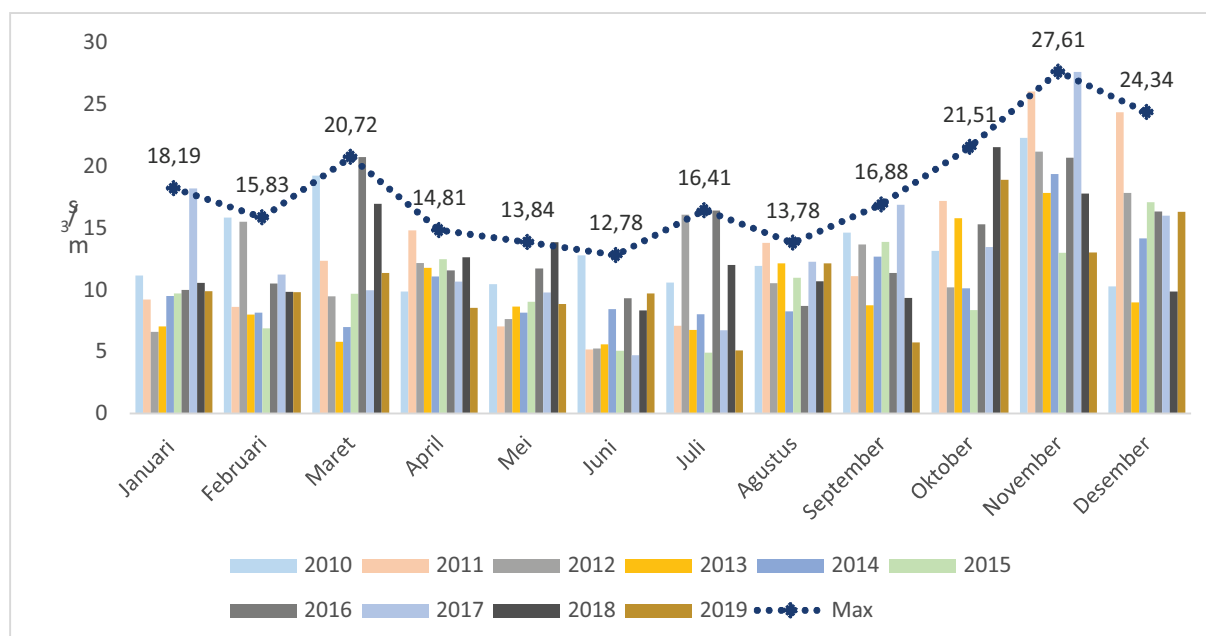
Gambar 6. Curah hujan periode Januari 2010 sd Maret 2019
Figure 6. Rainfall for January 2010 to March 2019

Tabel 1. Dimensi awal dan aktual pada kanal primer, sekunder dan tersier
Table 1. Initial and actual dimension on primary, secondary, and tertiary channels

Jenis Kanal	Panjang (m)	Dimensi Awal (m)	Dimensi Redesain (m)
		(Ba x Bb x h)	(Ba dan h)
Kanal Primer	9.835	3 x 3 x 2.5	(5-8) dan (1.5–2.4)
Kanal Sekunder	18.808	2.5 x 2.5 x 2	(2-5) dan (0.6–1.3)
Kanal Tersier	66.137	1 x 1 x 1	(1-1.5) dan (0,5 – 0.7)

*Ba = lebar atas; Bb = lebar bawah; h = kedalaman

*Ba = top width; Bb = bottom width; h = depth



Gambar 7. Debit rata – rata perhari periode Januari 2010 sd Desember 2019

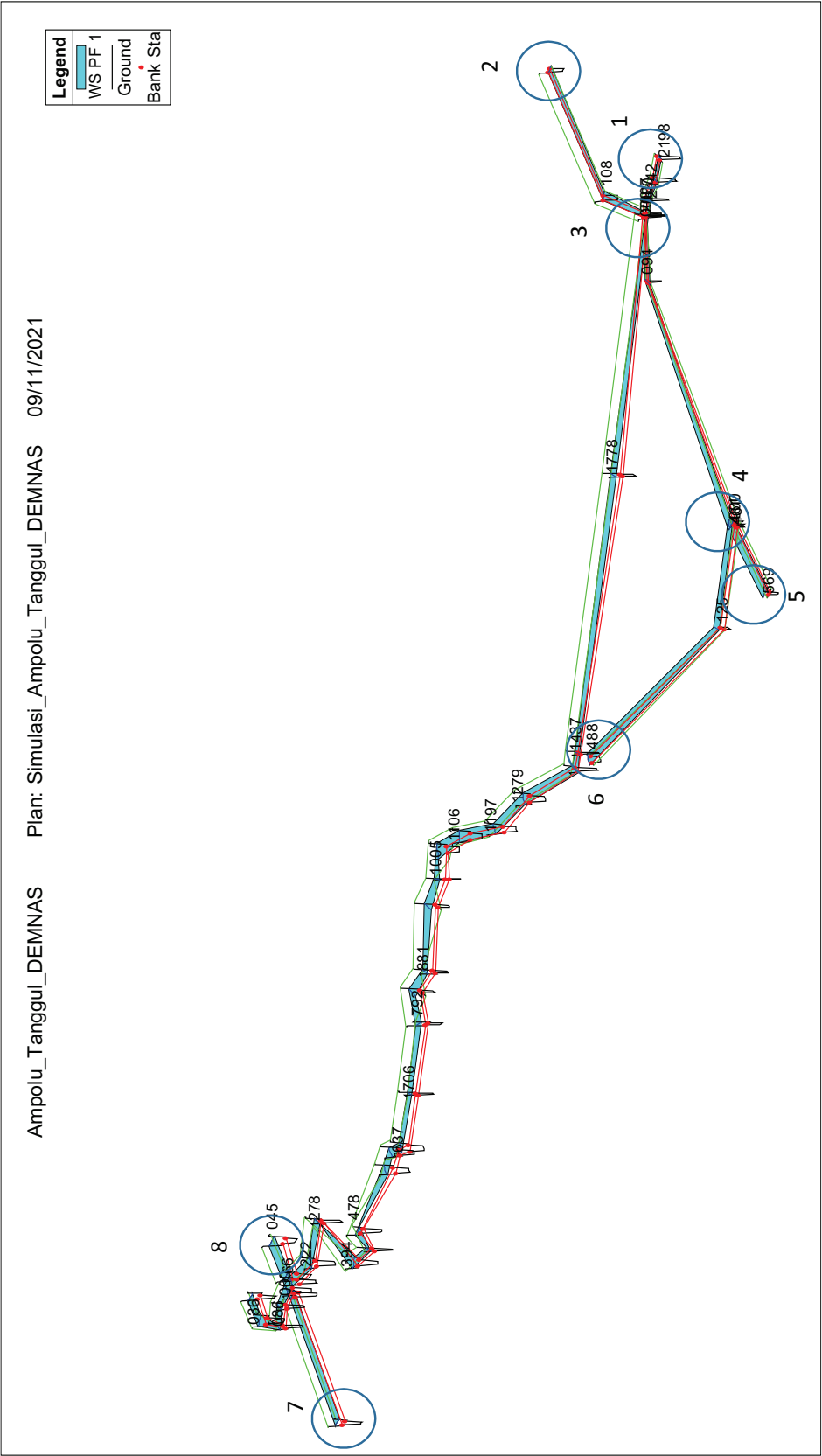
Figure 7. Mean of discharges for January 2010 to December 2019

Analisis dan Evaluasi Disain Kondisi Aktual dan Rancangan Desain

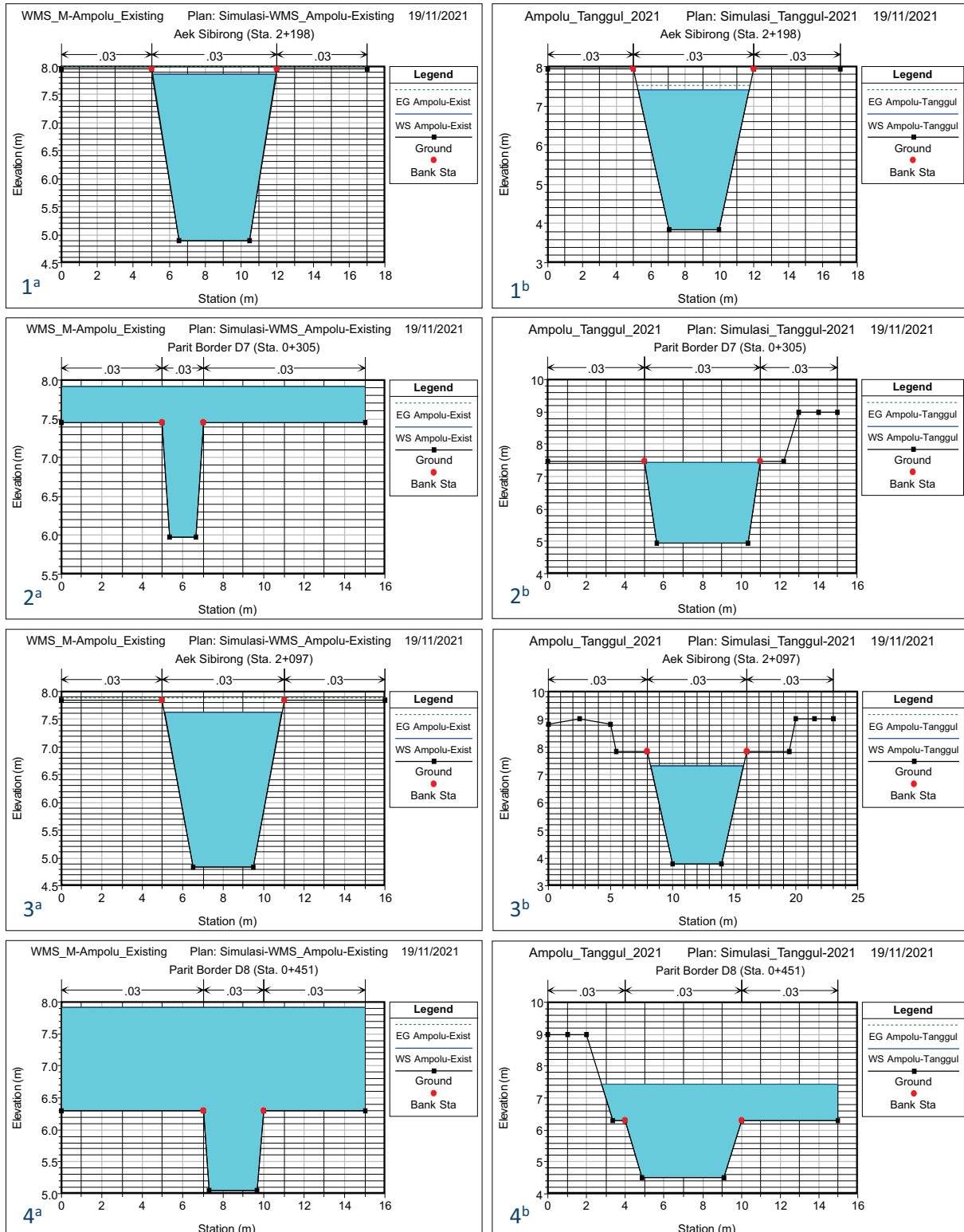
Guna Untuk mengetahui lebih detail dapat dilihat pada cross section peniruan hidrolika dari hulu sampai hilir Aek Siborong dan kanal yang terhubung pada 8 titik dengan membandingkan kondisi eksisiting (a) dan redesain setelah penerapan tanggul (b) (Gambar 9 dan Gambar &10). Bagian hulu Aek Siborong tidak mengalami banjir dan kapasitas kanal mampu menampung air yang ada dengan MATmat (muka air tanah) 50 cm dan pada lokasi ini tidak diaplikasikan tanggul pada sisi sungai (1^a,1^b). Inlet yang berada di

hulu melalui kanal border (2^a, 2^b) dimana kondisi aktual tidak tersedia tanggul dan tinggi genangan setinggi 50 cm sehingga diaplikasikan tanggul pada sisi kanan untuk menahan air tidak meluap dari kanal.

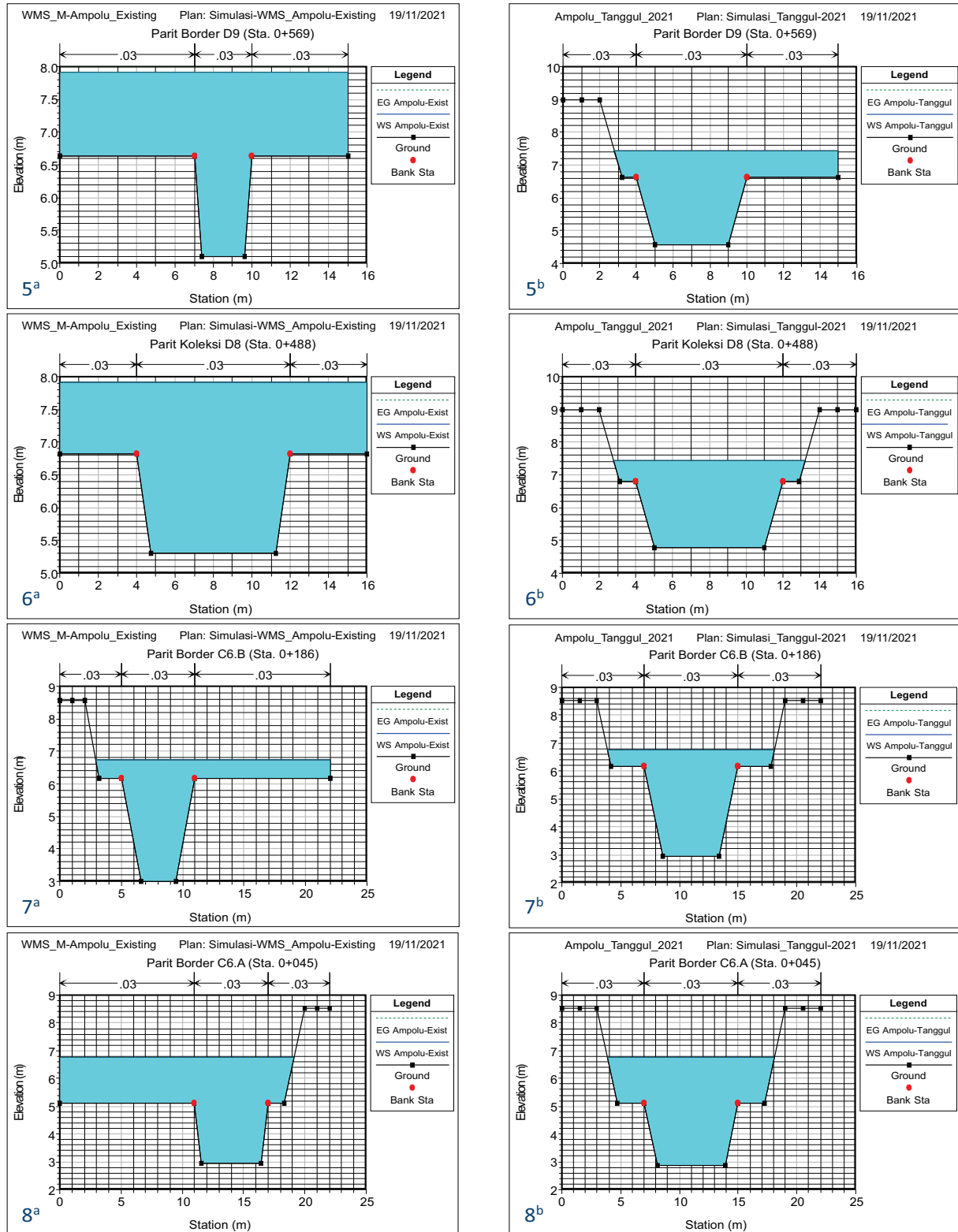
Pada lokasi Sungai Aek Siborong yang terhubung dengan kanal primer (3^a,3^b) dengan kondisi aktual belum tersedia tanggul pada sisi kanan dan kiri sungai sehingga diaplikasikan tanggul pada kedua sisi. Pada kanal border Blok D8 (4^a,4^b), kondisi aktual diperoleh genangan setinggi 130 cm, aplikasi tanggul dibutuhkan pada sisi kiri sehingga luapan air tidak masuk ke areal kebun. Pada kanal border Blok D9



Gambar 8. Peniruan profil hidrolika penampang memanjang Aek Sibirong (hulu hingga hilir)
Figure 8. Hydraulic longitudinal profile modelling of Aek Sibirong (upstream to downstream)



Gambar 9. Cross section titik 1^a, 1^b; 2^a, 2^b; 3^a, 3^b; dan 4^a, 4^b
Figure 9. Cross section on 1^a, 1^b; 2^a, 2^b; 3^a, 3^b; and 4^a, 4^b



Gambar 10. Cross section titik 5^a, 5^b; 6^a, 6^b; 7^a, 7^b; dan 8^a, 8^b
Figure 10. Cross section on 5^a, 5^b; 6^a, 6^b; 7^a, 7^b; dan 8^a, 8^b

Tabel 2. Peningkatan level tanggul
Table 2. Upgrading of levees level

Bagian Hilir Kanal				Bagian Hulu Kanal			
Posisi	Koordinat (UTM)		Ketinggian	Posisi	Koordinat (UTM)		Ketinggian
(Blok)	East (X)	South (Y)	(m)	(Blok)	East (X)	South (Y)	(m)
Aek Sibirong (C6)	485472.7041	155320.0847	3.00	Aek Sibirong (D7)	486917.3892	154761.5524	1.15
Border D7	486937.5757	154780.4364	1.10	Border D7	487040.7551	155050.3542	1.55
Border D8	486937.5100	154740.3670	1.15	Border D8	486637.7893	154456.3441	2.70
Border D9	486637.7893	154456.3441	2.70	Border D9	486845.8406	154736.4653	2.40
CD D8	486637.7893	154456.3441	2.70	CD D8	486269.2169	154741.3588	2.20
Border C6b	485447.3532	155310.2997	2.10	Border C6b	485333.8998	155163.5726	2.40
Border C6a	485470.6515	155342.8156	2.90	Border C6a	485496.5700	155379.5897	3.45

(5^a, 5^b), kondisi aktual diperoleh genangan setinggi 130 cm sehingga pada kondisi redesain diaplikasikan pemasangan tanggul pada sisi kiri kanal untuk mengatasi luapan air. Kanal koleksi Blok D8 (6^a, 6^b), kondisi aktual terdapat tinggi genangan melebihi kapasitas kanal sebesar 110 cm sehingga dilakukan redesain melalui penerapan tanggul pada sisi kanan dan kiri kanal. Bagian hilir bawah Aek Sibirong yang terhubung dengan kanal border Blok 6b (7^a, 7^b) sudah terdapat tanggul pada sisi kiri dan tingginya masih efektif untuk menahan luapan namun pada sisi kanan terjadi genangan setinggi 60 cm sehingga dibutuhkan aplikasi tanggul. Bagian hilir atas Aek Sibirong yang terhubung dengan kanal border Blok 6a (8^a, 8^b), pada kondisi aktual, sudah terdapat tanggul pada sisi kanan, namun pada sisi kiri terjadi genangan setinggi 150 cm sehingga diaplikasikan tanggul pada sisi kiri kanal.

Hasil simulasi dan analisis diperoleh 7 lokasi pemasangan tanggul terdiri dari kanal border Blok D7,

Blok D8, Blok D9, Blok C6b, Blok C6a, kanal koleksi Blok D8 dan Aek Sibirong sedangkan dua2 lokasi diantaranya sudah tersedia tanggul pada satu sisi dan masih efektif untuk menahan luapan air dengan rincian seperti dalam Tabel 2 dibawah ini.

Penggunaan *software* HECRAS 2D pada beberapa penelitian sebelumnya telah banyak digunakan dalam mensimulasikan efektifitas tanggul dan luapan sungai pada kawasan daerah aliran sungai (DAS). Pada penelitian ini, simulasi profil hidrolika sungai yang berada dalam areal perkebunan kelapa sawit dengan menggunakan *software* ini dilakukan sebagai dasar rancangan dan pertimbangan dalam penerapannya. Metode yang digunakan dengan mensimulasikan kondisi aktual di lapangan dan menganalisis upaya perbaikan sehingga dihasilkan rancangan yang baru (redesain) yang selanjutnya disimulasikan kembali ke dalam *software*. Hal ini menjadi tolak ukur bahwa kondisi redesain tersebut

mampu menurunkan tinggi muka air di kanal dan menahan luapan air sungai yang terjadi pada kondisi aktual.

Pemodelan hidrolika pada HEC-RAS 2D ini diyakinkan mampu sebagai alat bantu untuk mengetahui dampak luapan air dan kesesuaian desain yang dirancang sebelum diterapkan di lapangan sehingga dapat meminimalkan kegagalan dalam investasi. Setiap skenario yang dirancang pada pemodelan hidrolika ini harus melakukan proses dari awal simulasi disebabkan adanya perubahan data geometri dan sistem tata air.

KESIMPULAN

Karakteristik hidrologi areal perkebunan kelapa sawit yang dilalui sungai mempunyai tipologi luapan B yang akan terjadi banjir saat terjadi air pasang atau peningkatan tinggi muka air. Luapan air Aek Sibirong ini juga diperparah dengan kapasitas tanggul yang tidak dapat menahan tinggi muka air dan terkoneksi dengan kanal tersier yang berada dalam blok kebun. Kondisi ini menghambat aktivitas kebun seperti kultur teknis, kegiatan panen dan pemupukan. Selain itu, luapan yang menyebabkan genangan berakibat pada pertumbuhan tanaman secara vegetatif dan generatif. Penerapan tanggul pada Aek Sibirong, kanal border dan kanal koleksi yang terhubung dengan sungai setinggi 1.15 m -sd 3.45 m pada bagian hulu dan 1.10 m -sd 3 m pada bagian hilir mampu mengatasi banjir yang terjadi di areal kebun dengan debit 27.61 m³/s. Modifikasi desain ini diharapkan mampu menahan luapan air sungai sehingga tidak menggenangi areal kebun sehingga dapat mendukung aktivitas dan produktivitas kelapa sawit.

DAFTAR PUSTAKA

- Al Amin, M.B., L. Ulfah, H. Haki dan Sarino. 2018. Simulasi Karakteristik Genangan Banjir Menggunakan HEC_RAS 5 (Studi Kasus Subsistem Sekanak di Kota Palembang). *Jurnal Penelitian dan Kajian Bidang Teknik Sipil*, Vol. 7(2). P-ISSN: 1907-4247 | E-ISSN: 2477-4863.
- Arbaningrum R., J.G. Putri, P.S. Atmojo dan D. Kurniani. 2015. Perencanaan Tanggul Banjir Sungai Lusi Hilir. *Jurnal Karya Teknik Sipil*, Vol. 4(1):186–196. <http://ejournal-S1.undip.ac.id/index.php/jkts>
- ASCE-EWRI, 2005. The ASCE Standardized Reference Evapotranspiration Equation. Technical Committee report to the Environmental and Water Resources Institute of the American Society of Civil Engineers from the Task Committee on Standardization of Reference Evapotranspiration. ASCE-EWRI, 1801 Alexander Bell Drive, Reston, VA 20191-4400, 173 pp.
- Candrayana, K.W., I.N. Sinarta dan C.A. Yujana. 2021. Analisis Depth-Area-Duration Dengan HECRAS 2D Dalam Penentuan Infrastruktur Pengendalian Banjir di Banjir Sungai Pedolo. *Prosiding Konferensi Nasional Teknik Sipil Ke-15*. ISBN: 978-623-7635-91-8.
- Corley, R. and P. Tinker. 2015. Growth, flowering and yield. pp. 105-119. In: Corley, R. and P. Tinker (ed.). *The oil palm*. 5th ed. Wiley-Blackwell, Oxford, UK. DOI: 10.1002/9781118953297.ch5
- Dariah, A. dan S. Nurzakiah. 2014. *Pengelolaan Tata Air Lahan Gambut*. Dalam: buku panduan. *Panduan Pengelolaan Berkelanjutan Lahan Gambut Terdegradasi*. Badan Penelitian dan Pengembangan Pertanian.
- Febriano, M.R. 2013. *Pembukaan Lahan Kelapa Sawit (Elaeis guineensis Jacq.) di Kebun Batang Toru, PTPN III (Persero), Tapanuli Selatan, Sumatera Utara*. Skripsi Departemen Agronomi dan Hortikultura, Institut Pertanian Bogor.
- Harsono, S.S. 2012. *Mitigasi dan Adaptasi Kondisi Lahan Gambut di Indonesia Dengan Sistem Pertanian Berkelanjutan*. *Jurnal Wacana* Edisi 27 Tahun XIV 2012, p:11-37. Insist Press
- Rauf I., Imran dan I. Sahdar. 2021. Analisis Spasial Tingkat Bahaya Desa Amasing Kali Dengan Hec-RAS 2D. *Jurnal Teknik*, Vol.19(2). P-ISSN: 1693-6191 E-ISSN: 2715-7660. DOI: <https://doi.org/10.37031/jt.v19i2.188>
- Santoso, H. 2014. Akurasi Metode Pengukuran Gps Rtk (Real Time Kinematic) Untuk Pemetaan

- Mikro Topografi Di Areal Perkebunan Kelapa Sawit. *Jurnal Penelitian Kelapa Sawit*, Vol. 22(3):134-143.
- Soil Survey Staff. 2014. *Keys to Soil Taxonomy*. Eleventh Edition. United States Departement of Agriculture. Natural Resources Conservation Services.
- Suriadikarta, D.A. dan M.T. Sutriadi. 2007. Jenis – jenis Lahan Berpotensi Untuk Pengembangan Pertanian di Lahan Rawa. *Jurnal Litbang Pertanian Bogor*, Vol. 26(3):115-122.
- The US Army Corps of Engineers. 2021. *HEC-RAS River Analysis System User's Manual*. Institute for Water Resources Hdrolologic Engineering Center.
- US Geological Survey. 2012. *Topographic Mapping RTK GPS Standard Operating Procedures*. www.tidalmarshmonitoring.org
- Winarna, H. Santoso, M.A. Yusuf, Sumaryanto dan E.S. Sutarta. 2017. Pertumbuhan Tanaman Kelapa Sawit di Lahan Pasang Surut. *Jurnal Pertanian Tropik*, Vol. 4(1). E-ISSN No. 2356-4725.