



## Pengembangan Conceptual Design Pengelolaan Air di Perkebunan Kelapa Sawit (Studi Kasus PT XYZ Kalimantan Timur)

Susandi Kusuma<sup>1\*</sup>, Hermantoro<sup>2</sup>, Andreas Wahyu Krisdiarto<sup>3</sup>, Gilang Arya Dipayana<sup>4</sup>,  
Erik Febriarta<sup>5</sup>, Owen Max<sup>6</sup>

<sup>1-6</sup> Magister Manajemen Perkebunan, Institut Pertanian Stiper Yogyakarta, Indonesia

Email: [sandi.3dk@gmail.com](mailto:sandi.3dk@gmail.com)<sup>1\*</sup>

Alamat: Jl. Nangka II, Krodan, Maguwoharjo, Kec. Depok, Kabupaten Sleman, Daerah Istimewa  
Yogyakarta, Indonesia, 55281

\*Penulis Korespondensi

**Abstract.** Oil palm is a leading commodity that makes a major contribution to Indonesia's economy, yet a significant productivity gap remains between actual and potential yields. A principal cause is suboptimal water management, which leads to flooding during the rainy season and drought in the dry season. This study develops a Conceptual Design (CD) for water management to map existing problems, analyse root causes, formulate improvement measures, and present a macro-level cost estimate for the study site. The research was conducted at an oil palm plantation in East Kalimantan anonymized as "PT XYZ." The site was selected due to recurrent flooding and a recent change in ownership that limited data availability, making it well-suited for a CD-stage assessment. The objective is to identify water management issues and propose effective recommendations. A quantitative approach integrates primary data from field observations and measurements with secondary data. The analyses cover flood problem assessment, Water Management Zoning (WMZ/ZPA), rainfall analysis, hydrology, hydraulics, improvement proposals, and macro cost estimation. Results indicate that challenges are driven by swampy land conditions and inadequate channel and hydraulic structure capacity. Micro-watershed delineation using DEMNAS identified four ZPAs totalling 479–4,061 ha. Design rainfall was derived from CHIRPS satellite data using a log-normal distribution. Hydrologically, peak discharges range from 3.87–22.58 m<sup>3</sup>/s for the 2-year return period and 4.46–26.31 m<sup>3</sup>/s for the 5-year return period. Hydraulically, the proposed dimensions for rivers, outlet drains, carrier drains, and field-edge drains are 4×3×2 m to 9×7×3 m (T=2 years) and 4×3×2 m to 10×8×3 m (T=5 years), while collection and main drains are proposed at 3×2×2 m for both return periods. The total estimated investment for the 5-year design scenario is IDR 27,999,263,000.

**Keyword:** Cost Estimation; Hydrology; Oil Palm Plantations; Water Management; Water Management Zones

**Abstrak.** Kelapa sawit merupakan komoditas unggulan yang memberikan kontribusi besar bagi perekonomian Indonesia, namun masih terdapat kesenjangan produktivitas yang signifikan antara hasil aktual dan potensi. Salah satu penyebab utamanya adalah pengelolaan air yang kurang optimal, yang mengakibatkan banjir pada musim hujan dan kekeringan pada musim kemarau. Studi ini menyusun Desain Konseptual (Conceptual Design/CD) pengelolaan air untuk memetakan permasalahan yang ada, menganalisis akar penyebab, merumuskan langkah perbaikan, serta menyajikan estimasi biaya tingkat makro untuk lokasi kajian. Penelitian dilakukan di sebuah perkebunan kelapa sawit di Kalimantan Timur yang dianonimkan sebagai "PT XYZ." Lokasi tersebut dipilih karena kerap mengalami banjir dan adanya perubahan kepemilikan baru-baru ini yang membatasi ketersediaan data, sehingga sesuai untuk penilaian pada tahap CD. Tujuan kajian adalah mengidentifikasi persoalan pengelolaan air dan mengusulkan rekomendasi yang efektif. Pendekatan kuantitatif mengintegrasikan data primer dari observasi dan pengukuran lapangan dengan data sekunder. Analisis meliputi penilaian masalah banjir, penetapan Zona Pengelolaan Air (Water Management Zoning/WMZ atau Zona Pengelolaan Air/ZPA), analisis curah hujan, hidrologi, hidraulika, usulan perbaikan, dan estimasi biaya makro. Hasil menunjukkan bahwa tantangan dipengaruhi oleh kondisi lahan rawa dan kapasitas saluran serta bangunan air yang tidak memadai. Delineasi mikro-DAS menggunakan DEMNAS mengidentifikasi empat ZPA dengan luas total 479–4.061 ha. Hujan rencana diturunkan dari data satelit CHIRPS menggunakan distribusi log-normal. Secara hidrologis, debit puncak berkisar 3,87–22,58 m<sup>3</sup>/s untuk kala ulang 2 tahun dan 4,46–26,31 m<sup>3</sup>/s untuk kala ulang 5 tahun. Secara hidraulik, dimensi yang diusulkan untuk sungai, parit outlet, parit penyalur, dan parit peringgian adalah 4×3×2 m hingga 9×7×3 m (T=2 tahun) dan 4×3×2 m hingga 10×8×3 m (T=5 tahun), sedangkan *collection drain* dan *main drain* diusulkan 3×2×2 m untuk kedua kala ulang. Total investasi yang diestimasi untuk skenario desain 5 tahun adalah Rp 27.999.263.000.

**Kata Kunci:** Estimasi Biaya; Hidrologi; Perkebunan Kelapa Sawit; Pengelolaan Air; Zona Pengelolaan Air

## **1. LATAR BELAKANG**

Kelapa sawit merupakan komoditas unggulan strategis Indonesia yang memberikan kontribusi signifikan terhadap perekonomian nasional melalui berbagai dimensi ekonomi. Industri kelapa sawit tidak hanya berperan sebagai sumber utama penerimaan devisa negara, tetapi juga menjadi tulang punggung dalam penyediaan lapangan kerja, pemenuhan kebutuhan konsumsi domestik, serta pengembangan industri hilir yang luas. Pencapaian devisa sebesar Rp 600 triliun sepanjang tahun 2023 merupakan rekor tertinggi dalam sejarah industri ini (Gabungan Pengusaha Kelapa Sawit Indonesia (GAPKI), 2024), sementara penyerapan tenaga kerja mencapai 16,2 juta orang baik langsung maupun tidak langsung menjadikannya salah satu pilar fundamental struktur ekonomi nasional (Kementerian Pertanian RI, 2024).

Meskipun memiliki kontribusi ekonomi yang sangat besar, industri kelapa sawit Indonesia menghadapi tantangan produktivitas yang serius. Total luas lahan perkebunan kelapa sawit pada tahun 2023 mencapai 15,93 juta hektar dengan status tanaman menghasilkan (TM) seluas 12,97 juta hektar menghasilkan 47,08 juta ton Crude Palm Oil (CPO). Data ini menunjukkan actual yield (Y-a) nasional sebesar 3,63 ton per hektar, masih jauh di bawah potential yield (Y-p) yang dapat mencapai 8 ton per hektar (Indonesian Oil Palm Research Institute, 2023). Kesenjangan produktivitas yang mencapai lebih dari 50% ini mengindikasikan potensi peningkatan efisiensi dan daya saing industri yang sangat signifikan jika dapat diminimalkan (Corley & Tinker, 2016).

Salah satu faktor kritis yang menyebabkan rendahnya produktivitas tanaman kelapa sawit adalah permasalahan kompleks terkait sumber daya air, khususnya bencana banjir. Banjir dapat mengganggu berbagai aktivitas operasional kebun mulai dari perawatan rutin, aktivitas panen, hingga sistem distribusi hasil, serta menimbulkan kerusakan tanaman yang dapat berujung pada kematian tanaman (Siregar et al., 2020). Kondisi ini sangat nyata terjadi di Provinsi Kalimantan Timur yang mengalami peningkatan drastis kejadian banjir dari pola historis menjadi 296 kali kejadian pada tahun 2022, merupakan catatan tertinggi dalam kurun waktu 5 tahun terakhir. Dari 10 Kabupaten/Kota yang terdampak, Kabupaten Kutai Timur, Kabupaten Bontang, dan Kabupaten Kutai Kartanegara mengalami rata-rata di atas 40 kejadian banjir (Badan Penanggulangan Bencana Daerah (BPBD) Provinsi Kalimantan Timur, 2023).

Paradigma pengelolaan air modern telah mengalami evolusi signifikan dari sistem tradisional menuju pendekatan holistik dan berkelanjutan. Transformasi ini dimulai dari sistem kanal sederhana peradaban Mesopotamia dan akuaduk Romawi hingga pendekatan berbasis ekosistem kontemporer. Era modern menandai pergeseran dari pendekatan struktural konvensional (grey infrastructure) menuju pendekatan integratif seperti Integrated Water

Resources Management (IWRM) yang menekankan koordinasi lintas sektor dalam mengelola air, tanah, dan sumber daya terkait secara efisien tanpa mengorbankan keberlanjutan lingkungan (Global Water Partnership (GWP), 2000). Seiring meningkatnya tekanan perubahan iklim dan degradasi lingkungan, metode berbasis alam seperti Nature-Based Solutions (NbS) mulai diadopsi secara luas karena kemampuannya mengurangi risiko banjir sekaligus memulihkan fungsi ekosistem (International Union for Conservation of Nature (IUCN), 2020).

Kemajuan teknologi modern turut mendorong implementasi early warning systems (EWS) berbasis sensor dan model hidrologi prediktif untuk mitigasi banjir (United Nations Office for Disaster Risk Reduction (UNDRR), 2022), serta pendekatan eco-hydrology yang mengintegrasikan proses ekologi dan hidrologi dalam perencanaan tata air lanskap berkelanjutan (United Nations Educational, Scientific and Cultural Organization – International Hydrological Programme (UNESCO-IHP), 2011). Penelitian ini mengadopsi pendekatan modern dengan mengintegrasikan kerangka IWRM berbasis NbS melalui analisis hidrologi dan hidrolika serta perencanaan teknik berbasis data dengan fokus pada Conceptual Design (CD) sebagai representasi awal solusi teknis yang menggambarkan prinsip kerja, elemen utama, dan pendekatan sistematis sebelum perancangan teknis detail dilakukan (Ulrich & Eppinger, 2016).

Berdasarkan kompleksitas permasalahan pengelolaan air di sektor perkebunan kelapa sawit, penelitian ini merumuskan tiga pertanyaan penelitian utama yang saling berkaitan. Pertama, bagaimana kondisi permasalahan sumber daya air di lokasi penelitian pada saat ini, yang mencakup identifikasi karakteristik hidrologi, pola curah hujan, dan dampak banjir terhadap produktivitas perkebunan. Kedua, bagaimana kondisi infrastruktur pengelolaan air yang meliputi kondisi saluran dan bangunan air eksisting dalam kaitannya dengan permasalahan sumber daya air yang terjadi. Ketiga, bagaimana rancangan pengelolaan wilayah perkebunan sawit yang sesuai terkait pengelolaan sumber daya air sehingga produktivitas dapat meningkat dan lahan belum tertanam dapat dioptimalkan pemanfaatannya.

Penelitian ini bertujuan untuk mengembangkan solusi komprehensif pengelolaan air di perkebunan kelapa sawit melalui tiga tahapan strategis. Tujuan pertama adalah melakukan identifikasi secara menyeluruh permasalahan pengelolaan air dan menganalisis faktor-faktor penyebab permasalahan pengelolaan air di lokasi penelitian melalui pendekatan sistematis yang mencakup aspek hidrologi, topografi, dan infrastruktur eksisting. Tujuan kedua adalah melakukan analisis hidrologi dan hidrolika yang mendalam terkait permasalahan pengelolaan air di lokasi penelitian dengan menggunakan metode-metode terkini untuk menghasilkan

pemahaman kuantitatif yang akurat tentang dinamika air di area perkebunan. Tujuan ketiga adalah memberikan usulan rekomendasi pengelolaan air yang komprehensif dan aplikatif berdasarkan hasil kajian mendalam di lokasi penelitian yang dapat diimplementasikan untuk meningkatkan produktivitas perkebunan dan optimalisasi lahan.

Penelitian ini memberikan kontribusi signifikan baik dari aspek teoritis maupun praktis dalam bidang pengelolaan sumber daya air perkebunan kelapa sawit. Dari segi manfaat teoritis, penelitian ini berkontribusi pada pengembangan ilmu pengetahuan di bidang hidrologi terapan khususnya dalam penyelesaian masalah pengelolaan sumber daya air di perkebunan sawit dengan mengintegrasikan pendekatan modern berbasis IWRM dan NbS. Penelitian ini juga memperkaya literatur ilmiah tentang aplikasi Conceptual Design dalam konteks pengelolaan air perkebunan tropis yang dapat menjadi referensi untuk penelitian-penelitian selanjutnya di bidang yang sama.

Dari aspek manfaat praktis, hasil penelitian ini dapat digunakan secara langsung oleh praktisi dan pengambil keputusan untuk memahami permasalahan pengelolaan air secara komprehensif, mengidentifikasi solusi-solusi yang tepat, dan mengestimasi biaya yang diperlukan untuk implementasi solusi tersebut. Hal ini dapat menjadi pertimbangan strategis yang valuable untuk penyelesaian masalah pengelolaan air tidak hanya di lokasi penelitian tetapi juga dapat diadaptasi untuk kondisi perkebunan kelapa sawit dengan karakteristik serupa di wilayah lain, sehingga berkontribusi pada peningkatan produktivitas sektor perkebunan kelapa sawit Indonesia secara keseluruhan.

## **2. METODE PENELITIAN**

### **Lokasi dan Waktu Penelitian**

Penelitian dilakukan di PT XYZ yang berlokasi di Provinsi Kalimantan Timur selama periode 6 bulan dari Maret hingga Agustus 2025. Pemilihan lokasi ini didasarkan pada karakteristik perkebunan kelapa sawit yang menghadapi permasalahan pengelolaan air, khususnya terkait banjir dan drainase. Lokasi penelitian merepresentasikan kondisi tipikal perkebunan kelapa sawit di wilayah tropis dengan curah hujan tinggi dan topografi yang memerlukan sistem pengelolaan air yang optimal. Pelaksanaan penelitian dirancang secara bertahap mulai dari penyusunan proposal, pengumpulan data sekunder, survei lapangan, analisis data, hingga penyusunan laporan. Tahapan ini disusun secara sistematis untuk memastikan kualitas data yang dikumpulkan dan validitas hasil analisis. Waktu penelitian yang relatif panjang memungkinkan pengamatan kondisi hidrologi pada berbagai musim, sehingga

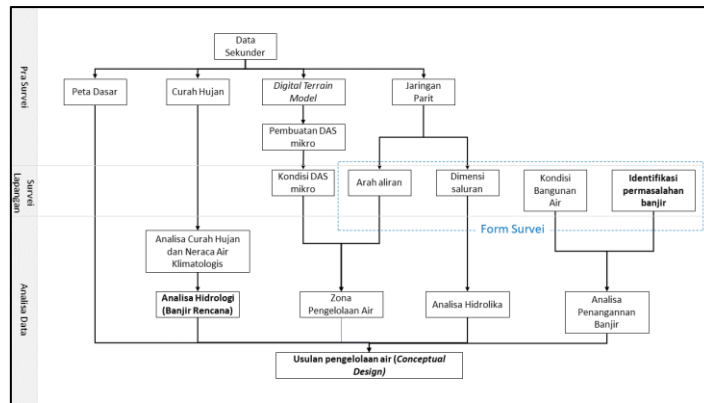
dapat memberikan gambaran komprehensif tentang dinamika pengelolaan air di lokasi penelitian.

### **Alat dan Bahan Penelitian**

Alat penelitian dikelompokkan menjadi dua kategori utama yaitu alat ukur lapangan dan alat analisis. Alat ukur lapangan meliputi meteran, GPS, rambu ukur, kamera, form pengukuran, range finder, dan stopwatch yang digunakan untuk mengukur dimensi saluran, debit air, ketinggian banjir, dan dokumentasi kondisi lapangan. Penggunaan kombinasi alat ini memungkinkan pengukuran yang akurat dan komprehensif terhadap berbagai parameter hidrologi di lapangan. Alat analisis terdiri dari software GIS untuk pengolahan data spasial dan software Excel untuk analisis statistik. Bahan penelitian berupa data sekunder meliputi peta dasar yang berisi informasi batas kebun, tutupan lahan, jaringan jalan dan jenis tanah, data penginderaan jauh dari Citra Satelit Sentinel-2 dan foto udara, data topografi dari Digital Terrain Model (DTM) dan Digital Elevation Model Nasional (DEMNAS), data jaringan sungai dan parit, serta data iklim berupa curah hujan selama 10 tahun terakhir. Integrasi data primer dan sekunder ini memberikan basis yang kuat untuk pengembangan conceptual design pengelolaan air.

### **Rancangan dan Pelaksanaan Penelitian**

Penelitian dirancang dengan pendekatan sistematis yang terdiri dari tahapan pra-survey, survei lapangan, dan analisis data. Tahap pra-survey meliputi pengumpulan data dasar dan data sekunder untuk memahami kondisi umum lokasi penelitian. Tahap survei lapangan mencakup identifikasi permasalahan banjir, survei kondisi DAS mikro dan kondisi banjir, survei kondisi saluran (kapasitas, jaringan dan gradien), serta survei kondisi tanggul dan bangunan air untuk mendapatkan gambaran komprehensif tentang sistem hidrologi eksisting. Tahap analisis data meliputi analisis curah hujan dan neraca air klimatologis, analisis hidrologi untuk menentukan debit puncak banjir, analisis hidrolika untuk saluran, bangunan air dan tanggul, serta analisis penanganan banjir lainnya termasuk tanggul dan row bunding. Seluruh tahapan ini dirancang secara terintegrasi untuk menghasilkan usulan water management conceptual design yang optimal dan sesuai dengan kondisi spesifik lokasi penelitian.



Gambar 1. Rancangan Penelitian.

### Metode Pengumpulan Data

Metode pengumpulan data menggunakan tiga pendekatan utama yaitu observasi, pengukuran langsung, dan pengumpulan data sekunder. Observasi dilakukan untuk mengamati arah aliran air, kondisi saluran (kering atau berair), dan kondisi tanggul (rusak/longsor atau berfungsi baik). Pengamatan ini memberikan informasi kualitatif yang penting untuk memahami dinamika sistem hidrologi di lokasi penelitian dan mengidentifikasi titik-titik kritis yang memerlukan perhatian khusus dalam pengelolaan air. Pengukuran langsung meliputi pengukuran ketinggian banjir dengan melihat jejak banjir pada objek yang pernah terendam, pengukuran dimensi saluran menggunakan rambu ukur dan range finder, serta pengukuran debit saluran menggunakan metode pelampung dengan stopwatch dan meteran. Data sekunder diperoleh dari data curah hujan historis Climate Hazards Group InfraRed Precipitation with Station (CHRIPS), data topografi dari DTM dan DEMNAS yang diunduh dari portal Badan Informasi Geospasial, peta dasar dari tim kebun, dan data spasial jaringan sungai hasil digitasi foto udara. Kombinasi data primer dan sekunder ini memberikan basis data yang komprehensif untuk analisis sistem pengelolaan air.

### Analisis Data

Analisis data menggunakan pendekatan kuantitatif dengan memanfaatkan data numerik dan statistik untuk menguji hubungan antar variabel dalam sistem pengelolaan air. Penentuan Zona Pengelolaan Air (ZPA) dilakukan berdasarkan analisis DAS, lokasi saluran drainase, bangunan air eksisting, dan hasil survei lapangan. ZPA disusun untuk memudahkan pengelolaan air dengan mempertimbangkan karakteristik fisik lahan, dimana batas ZPA mengikuti kondisi topografi namun pada beberapa area diperlukan rekayasa seperti peninggian jalan, pembuatan tanggul, penutupan bangunan air, dan perubahan jaringan parit. Analisis lama

pengeringan dihitung menggunakan persamaan Chow (1959):  $T_d = CIA * T_c / (Q_d - Q_a)$ , dimana  $T_d$  adalah lama pengeringan,  $C$  adalah koefisien limpasan,  $I$  adalah intensitas hujan,  $A$  adalah luas area tangkapan,  $T_c$  adalah waktu konsentrasi,  $Q_d$  adalah debit rancangan saluran, dan  $Q_a$  adalah debit aktual saluran. Analisis penanganan banjir meliputi perbaikan kapasitas saluran parit, perbaikan kapasitas bangunan air di outlet dan jembatan, perbaikan tanggul dan jalan, peninggian lahan dengan sistem double row bunding, serta estimasi biaya makro berdasarkan Rencana Anggaran Biaya (RAB) yang mengacu pada cost center PT XYZ. Pendekatan analisis yang komprehensif ini memungkinkan pengembangan solusi pengelolaan air yang optimal dan ekonomis.

### **3. HASIL DAN PEMBAHASAN**

#### **Kondisi Wilayah Penelitian**

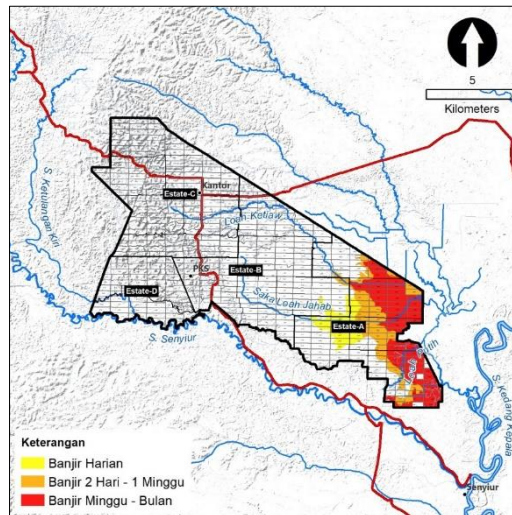
Karakteristik Fisik dan Topografi, PT XYZ merupakan perkebunan kelapa sawit seluas 14.158,32 Ha yang terletak di Kecamatan Muara Ancalong, Kabupaten Kutai Timur, Kalimantan Timur, dengan koordinat  $116^{\circ}26'27,137''$  BT –  $116^{\circ}36'47,458''$  BT dan  $0^{\circ}21'15,983''$  LU –  $0^{\circ}29'51,328''$  LU. Lokasi penelitian memiliki topografi yang bervariasi dengan ketinggian berkisar antara 0-140 m di atas permukaan laut, dimana area sebelah barat memiliki elevasi lebih tinggi dibandingkan sebelah timur. Kondisi topografi ini menunjukkan pola aliran air yang mengalir dari barat ke timur dan bermuara ke Sungai Kadang Kepala sebagai batas sebelah timur kebun. Analisis distribusi kelas kemiringan lereng menunjukkan bahwa 77% area PT XYZ memiliki kelas lereng datar hingga landai, sementara area bertopografi agak curam hingga curam terdapat di bagian tengah perkebunan. Kondisi topografi ini memengaruhi pola drainase alami dan menjadi faktor penting dalam perencanaan sistem pengelolaan air. Sistem hidrologi alami wilayah didominasi oleh empat sungai besar yaitu Sungai Loah Ketiaw, Saka Loah Jahab, Loah Putih, dan Sungai Ketulangan Kiri yang semuanya bermuara ke Sungai Kadang Kepala.

#### **Kondisi Iklim dan Pola Curah Hujan**

PT XYZ memiliki iklim tropis lembab dengan dua musim utama: musim hujan (November-Maret) dan musim kemarau (April-Oktober). Rata-rata curah hujan tahunan mencapai 2.000-2.500 mm per tahun dengan suhu udara relatif stabil berkisar  $25-32^{\circ}\text{C}$  dan kelembapan udara tinggi antara 80-90%. Kondisi iklim ini mendukung pertumbuhan kelapa sawit namun juga menciptakan tantangan dalam pengelolaan air, khususnya pada musim hujan dengan intensitas tinggi.

## Identifikasi Permasalahan Banjir

Area Terdampak dan Karakteristik Banjir, Hasil pemetaan menunjukkan area terdampak banjir seluas 2.493,25 Ha yang terletak di Estate A. Berdasarkan durasi genangan, banjir dikategorikan menjadi tiga kelompok: banjir harian, banjir 2 hari-1 minggu, dan banjir 1 minggu-1 bulan. Kategori banjir dengan durasi terlama (minggu-bulan) memiliki cakupan terluas yaitu 1.336,81 Ha, menunjukkan tingkat keparahan masalah drainase di lokasi penelitian.



**Gambar 2.** Area Terdampak Banjir.

## Permasalahan Teknis Pengelolaan Air

Identifikasi permasalahan dilakukan melalui survei lapangan dan wawancara dengan pihak operasional, menghasilkan empat kategori utama permasalahan:

**Kondisi Fisik Lahan:** Divisi 1 dan 2 merupakan area paling terdampak banjir dengan karakteristik tanah berpasir di bagian hulu dan bergambut di bagian hilir, menyebabkan laju limpasan permukaan (runoff) yang tinggi. Kondisi ini diperburuk dengan adanya hardpan pada kedalaman 1-1,5 m di beberapa area.

**Sistem Saluran:** Aliran sungai alami mengalami pendangkalan dan tertutup semak, dengan kapasitas yang tidak memadai. Modifikasi alur sungai alami menjadi parit main drain dan collection drain dilakukan tanpa perencanaan yang optimal, mengakibatkan koneksi saluran dari hulu hingga hilir tidak baik.

**Bangunan Air:** Kondisi bangunan air non-permanen dari kayu dalam keadaan buruk sehingga menghambat aliran. Terdapat ketidaksesuaian kapasitas bangunan air antara segmen hulu dan hilir, dimana idealnya kapasitas di hilir harus lebih besar atau sama dengan di hulu.

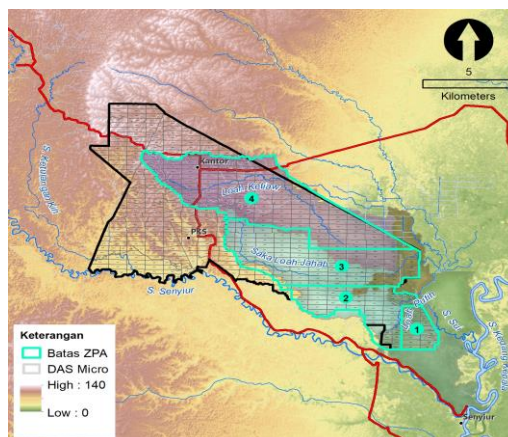
Outlet dan Tanggul: Hanya terdapat satu outlet di Divisi 1 & 2 dengan kondisi berupa saluran terbuka yang menjadi jalur limpasan air banjir dari Sungai Sui. Kondisi tanggul tertutup vegetasi dan tidak dapat diakses, sehingga fungsinya kurang maksimal.

### **Pengembangan Zona Pengelolaan Air (ZPA)**

Pembentukan DAS Mikro, Analisis DAS mikro menggunakan data DEMNAS dan software ArcGIS 10.8 menghasilkan pembagian wilayah berdasarkan karakteristik hidrologi alami. Pengamatan arah aliran air dilakukan dengan metode proposed random sampling untuk validasi hasil analisis DAS mikro di lapangan.

Konsep Zona Pengelolaan Air, Penentuan ZPA dilakukan berdasarkan analisis DAS mikro, arah saluran drainase, bangunan air eksisting, dan hasil survei lapangan. ZPA disusun untuk memudahkan pengelolaan air dengan mempertimbangkan karakteristik fisik lahan dan memerlukan rekayasa aktivitas manusia berupa peninggian jalan, pembuatan tanggul, modifikasi bangunan air, dan perubahan jaringan parit.

Hasil analisis menghasilkan 4 ZPA dengan karakteristik berbeda: (a) ZPA 1 (478,95 Ha) dengan outlet di blok R045, waktu konsentrasi 1,76 jam. (b) ZPA 2 (1.478,52 Ha) dengan outlet di blok Q038, waktu konsentrasi 3,50 jam. (c) ZPA 3 (2.821,39 Ha) dengan outlet di blok Q031, waktu konsentrasi 4,37 jam. (d) ZPA 4 (4.060,66 Ha) dengan outlet di blok Q028, waktu konsentrasi 7,53 jam.



**Gambar 3.** Pembagian Zona Pengelolaan Air.

### **Analisis Hidrologi**

Curah Hujan Rancangan, Keterbatasan data curah hujan lokal diatasi dengan menggunakan data CHIRPS dengan resolusi spasial  $0,05^\circ \times 0,05^\circ$  untuk periode 2014-2024. Analisis curah hujan wilayah menggunakan metode aritmatik dari 9 pixel data CHIRPS menunjukkan pola curah hujan equatorial dengan dua puncak musim hujan (Maret-Mei dan

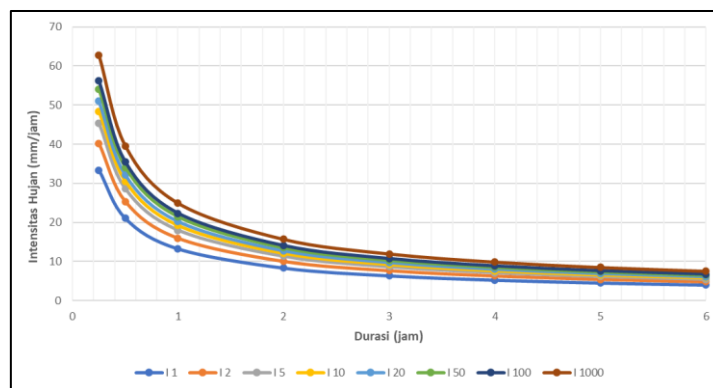
November-Januari) dan musim kemarau (Juli-September). Curah hujan harian rerata adalah 7 mm/hari dengan maksimum 59 mm/hari (11 Desember 2015). Curah hujan bulanan rerata mencapai 214 mm/bulan dengan maksimum 537 mm/bulan (Desember 2014). Analisis curah hujan rancangan kala ulang menggunakan distribusi Log-Normal menghasilkan nilai 38 mm/hari (kala ulang 1 tahun) hingga 72 mm/hari (kala ulang 1000 tahun).

**Tabel 1.** Curah Hujan Rancangan Kala Ulang.

P(x >= Xm)	T	Curah Hujan Rancangan (mm/hari)							
		NORMAL		LOG-NORMAL		GUMBEL		LOG-PEARSON III	
		XT	KT	XT	KT	XT	KT	XT	KT
0.9	1	38	-1.2816	38	-1.1966	39	-1.1003	39	-1.2282
0.5	2	46	0.0000	46	-0.0648	45	-0.1643	46	-0.0692
0.2	5	52	0.8416	52	0.8010	51	0.7195	52	0.8143
0.1	10	55	1.2816	55	1.2972	55	1.3046	56	1.3170
0.05	20	58	1.6449	58	1.7315	59	1.8658	59	1.7541
0.02	50	61	2.0537	62	2.2484	64	2.5923	64	2.2704
0.01	100	62	2.3263	64	2.6103	68	3.1367	67	2.6293
0.001	1000	68	3.0902	72	3.7039	80	4.9356	79	3.6992

- Ket :
1.  $XT = m + KT * s$
  2. Menurut Uji Chi-Kuadrat, yang terbaik menggunakan distribusi LOG-NORMAL
  3. Sedangkan menurut Uji Smirnov-Kolmogorov, yang terbaik menggunakan distribusi LOG-PEARSON III
  4. Hitungan dilakukan dengan menggunakan rumus dalam buku 'Applied Hidrology', 1988, Ven Te Chow, et. al.

Kurva IDF dan Intensitas Hujan, Distribusi curah hujan harian menjadi jam-jaman menghasilkan kurva Intensity-Duration-Frequency (IDF) yang menjadi dasar perhitungan debit puncak banjir. Intensitas hujan bervariasi dari 33 mm/jam (durasi 15 menit, kala ulang 1 tahun) hingga 4 mm/jam (durasi 6 jam, kala ulang 1 tahun). Intensitas hujan untuk masing-masing ZPA disesuaikan dengan waktu konsentrasinya, dengan ZPA 1 memiliki intensitas tertinggi (15 mm/jam, kala ulang 100 tahun) dan ZPA 4 terendah (6 mm/jam, kala ulang 100 tahun).



**Gambar 4.** Kurva IDF.

Debit Puncak Banjir, Perhitungan debit puncak banjir menggunakan metode rasional dengan koefisien runoff 45% untuk semua ZPA. Hasil analisis menunjukkan: (a) ZPA 1: 5,45 m<sup>3</sup>/s (kala ulang 1 tahun) hingga 7,90 m<sup>3</sup>/s (kala ulang 10 tahun). (b) ZPA 2: 10,63 m<sup>3</sup>/s (kala ulang 1 tahun) hingga 15,40 m<sup>3</sup>/s (kala ulang 10 tahun). (c) ZPA 3: 17,50 m<sup>3</sup>/s (kala ulang 1

tahun) hingga 25,35 m<sup>3</sup>/s (kala ulang 10 tahun). (d) ZPA 4: 18,59 m<sup>3</sup>/s (kala ulang 1 tahun) hingga 26,93 m<sup>3</sup>/s (kala ulang 10 tahun)

### **Neraca Air Meteorologis**

Analisis neraca air meteorologis menggunakan tiga skenario curah hujan (rerata, andalan 80%, dan minimum) menunjukkan kondisi surplus dan defisit air bulanan. Pada kondisi curah hujan rerata, defisit hanya terjadi di bulan Agustus (4,76 mm). Kondisi curah hujan andalan 80% mengalami defisit Juli-September (12,29-50,53 mm), sedangkan curah hujan minimum mengalami defisit Januari-Februari dan Juli-Oktober (20,60-117,31 mm). Untuk area gambut seluas 1.066,38 Ha, volume defisit air mencapai 1,25 juta m<sup>3</sup> pada kondisi curah hujan minimum di bulan September. Informasi ini penting untuk perencanaan konservasi air di lahan gambut guna mencegah penurunan muka air tanah dan risiko kebakaran.

### **Analisis Hidraulika**

Kapasitas Saluran dan Parit, Analisis kapasitas saluran dirancang untuk menampung 120% debit puncak banjir dengan toleransi pengeringan < 24 jam. Dimensi rancangan parit outlet, penyalur, dan peringgian berkisar 4x3x2 m hingga 11x9x3 m tergantung kala ulang rancangan. Untuk parit main drain dan collection drain dengan catchment area 30 Ha, dimensi rancangan yang diusulkan adalah 3x2x2 m dengan waktu pengeringan kurang dari 1 jam.

Kapasitas Bangunan Air, Analisis kapasitas bangunan air di outlet mengusulkan dua alternatif: flapgate dan screwgate. Kebutuhan flapgate (dimensi 2x2 m) berkisar 3-18 unit per ZPA, dengan ZPA 4 memerlukan jumlah terbanyak. Alternatif screwgate (dimensi 1x1x3 m) memerlukan 4-11 unit per ZPA. Pemilihan jenis bangunan air mempertimbangkan debit air, kondisi outlet, biaya pembangunan, dan ketersediaan tenaga operasional.

Kapasitas Mesin Pompa Air (MPA), Analisis MPA dengan kapasitas 3.000 m<sup>3</sup>/jam untuk kondisi outlet bertanggung menunjukkan kebutuhan 1-3 unit per ZPA. Simulasi operasi MPA 20 jam/hari menghasilkan tebal genangan maksimal 1,32 m dengan lama genangan hingga 299 hari di ZPA 2. Hasil ini menjadi dasar penentuan spesifikasi dan jumlah MPA yang dibutuhkan.

## **Usulan Perbaikan Sistem Pengelolaan Air**

Prioritas Pengelolaan, Berdasarkan analisis komprehensif, ditetapkan tiga prioritas pengelolaan: Prioritas 1 (ZPA 1), Prioritas 2 (ZPA 4 dan ZPA 2), dan Prioritas 3 (ZPA 3). Urutan prioritas ini mempertimbangkan luas area terdampak, tingkat keparahan banjir, dan efektivitas biaya penanganan.

Perbaikan Infrastruktur, Usulan perbaikan meliputi: (1) Perbaikan koneksi jaringan saluran dengan dimensi collection drain 3x2x2 m, main drain 3x2x2 m, dan parit outlet bervariasi sesuai ZPA; (2) Pembangunan bangunan air di outlet dengan kombinasi flapgate dan screwgate sesuai kebutuhan masing-masing ZPA; (3) Peninggian jalan dan tanggul dengan panjang total 40.871 m untuk jalan dan 8.795 m untuk tanggul; (4) Pemasangan MPA dengan total 8 unit kapasitas 3.000 m<sup>3</sup>/jam; (5) Aplikasi double row bunding pada area seluas 1.515 Ha untuk peninggian lahan.

Pengelolaan Lahan Gambut, Untuk area gambut, diusulkan pemasangan 169 unit sekat kanal untuk menjaga muka air tanah pada level -40 hingga -60 cm dari permukaan. Sekat kanal dirancang dengan overflow statis dan dinamis sesuai kondisi lapangan untuk mencegah subsiden dan risiko kebakaran.

Estimasi Biaya, Rencana Anggaran Biaya (RAB) total untuk implementasi conceptual design pengelolaan air adalah Rp. 27,99 miliar, terdistribusi: Prioritas 1 (Rp. 4,59 miliar), Prioritas 2 (Rp. 22,47 miliar), dan Prioritas 3 (Rp. 0,95 miliar). RAB ini dapat diimplementasikan secara bertahap sesuai skema pembiayaan multi-year untuk optimalisasi anggaran perusahaan.

Implikasi dan Rekomendasi, Pengembangan conceptual design pengelolaan air ini memberikan solusi komprehensif untuk permasalahan banjir di perkebunan kelapa sawit PT XYZ. Pendekatan berbasis ZPA memungkinkan pengelolaan air yang lebih efektif dan efisien dibandingkan penanganan konvensional. Implementasi bertahap sesuai prioritas dapat mengoptimalkan alokasi sumber daya sambil tetap memberikan perlindungan terhadap risiko banjir. Untuk keberlanjutan sistem, diperlukan monitoring rutin dan pemeliharaan infrastruktur serta peningkatan kapasitas SDM operasional dalam pengelolaan air modern. Penelitian ini memberikan kontribusi metodologis dalam pengembangan sistem pengelolaan air terpadu untuk perkebunan kelapa sawit di lahan gambut dan mineral, yang dapat diadaptasi untuk lokasi dengan karakteristik serupa. Pendekatan multi-disiplin yang mengintegrasikan analisis hidrologi, hidraulika, dan aspek ekonomi memberikan dasar yang kuat untuk pengambilan keputusan investasi infrastruktur pengelolaan air di perkebunan.

#### 4. KESIMPULAN

Berdasarkan analisis komprehensif penelitian di PT XYZ, dapat disimpulkan bahwa pengelolaan air di perkebunan kelapa sawit memerlukan pendekatan sistematis dan terintegrasi untuk mengatasi permasalahan banjir yang kompleks. Pengembangan Zona Pengelolaan Air (ZPA) berbasis analisis DAS mikro terbukti efektif dalam memberikan solusi spesifik sesuai karakteristik hidrologi masing-masing wilayah, dengan hasil pembagian 4 ZPA yang menampung luas total 8.839,52 Ha. Implementasi conceptual design yang mengintegrasikan perbaikan infrastruktur saluran dengan dimensi collection drain 3x2x2 m, instalasi bangunan air kombinasi flapgate-screwgate, serta pemasangan 8 unit MPA kapasitas 3.000 m<sup>3</sup>/jam mampu menangani debit puncak banjir hingga 26,93 m<sup>3</sup>/s (kala ulang 10 tahun) dengan waktu pengeringan kurang dari 24 jam. Keberhasilan pengelolaan air berkelanjutan di lahan gambut dan mineral memerlukan strategi multi-tahap dengan prioritas penanganan berdasarkan tingkat keparahan dampak banjir dan efektivitas biaya. Pemasangan 169 unit sekat kanal untuk mempertahankan muka air tanah gambut pada level -40 hingga -60 cm, kombinasi dengan aplikasi double row bunding seluas 1.515 Ha, serta pembangunan tanggul sepanjang 8.795 m memberikan perlindungan komprehensif terhadap risiko banjir dan subsiden. Investasi total Rp. 27,99 miliar dengan skema implementasi bertahap sesuai prioritas tidak hanya memberikan solusi teknis yang optimal, tetapi juga menciptakan model pengelolaan air terpadu yang dapat diadaptasi untuk perkebunan kelapa sawit dengan karakteristik serupa di Indonesia, sehingga berkontribusi pada peningkatan produktivitas nasional dari actual yield 3,63 ton/Ha menuju potential yield 8 ton/Ha.

#### DAFTAR REFERENSI

- Badan Informasi Geospasial. (2023). *Digital Elevation Model Nasional (DEMNAS)*. Portal Badan Informasi Geospasial. Jakarta: Badan Informasi Geospasial Republik Indonesia.
- Badan Penanggulangan Bencana Daerah (BPBD) Provinsi Kalimantan Timur. (2023). *Data Kejadian Banjir Provinsi Kalimantan Timur Tahun 2018-2022*. Samarinda: BPBD Provinsi Kalimantan Timur.
- Chow, V. T. (1959). *Open channel hydraulics*. New York: McGraw-Hill Book Company, Inc.
- Climate Hazards Group. (2024). *Climate Hazards Group InfraRed Precipitation with Station Data (CHIRPS)*. University of California, Santa Barbara. Retrieved from <https://www.chc.ucsb.edu/data/chirps>
- Corley, R. H. V., & Tinker, P. B. (2016). *The oil palm* (5th ed.). Oxford: Blackwell Publishing Ltd. <https://doi.org/10.1002/9781118953297>
- Gabungan Pengusaha Kelapa Sawit Indonesia (GAPKI). (2024). *Statistik Kelapa Sawit Indonesia 2023*. Jakarta: Gabungan Pengusaha Kelapa Sawit Indonesia.
- Global Water Partnership (GWP). (2000). *Integrated water resources management*. TAC Background Papers No. 4. Stockholm: Global Water Partnership Technical Advisory Committee.

- Indonesian Oil Palm Research Institute. (2023). *Indonesian oil palm statistics 2022*. Medan: Indonesian Oil Palm Research Institute.
- International Union for Conservation of Nature (IUCN). (2020). *Nature-based solutions to address global societal challenges*. Gland, Switzerland: International Union for Conservation of Nature.
- Kementerian Pertanian Republik Indonesia. (2024). *Statistik Perkebunan Indonesia 2022-2024: Kelapa Sawit*. Jakarta: Direktorat Jenderal Perkebunan, Kementerian Pertanian Republik Indonesia.
- PT XYZ. (2025). *Data operasional dan rencana anggaran biaya (RAB) cost center*. Internal Company Report. Kalimantan Timur: PT XYZ.
- Siregar, H. H., Dharma, S., & Tambunan, E. P. S. (2020). Impact of flooding on oil palm productivity in tropical plantation. *Indonesian Journal of Agricultural Science*, 21(2), 89-102.
- Ulrich, K. T., & Eppinger, S. D. (2016). *Product design and development* (6th ed.). New York: McGraw-Hill Education.
- United Nations Educational, Scientific and Cultural Organization - International Hydrological Programme (UNESCO-IHP). (2011). *Eco-hydrology: A new paradigm for the sustainable use of aquatic resources*. Paris: UNESCO Publishing.
- United Nations Office for Disaster Risk Reduction (UNDRR). (2022). *Global assessment report on disaster risk reduction 2022: Our world at risk: Transforming governance for a resilient future*. Geneva: United Nations Office for Disaster Risk Reduction.