

# Skenario Konservasi Tanah pada Perkebunan Sawit sebagai Upaya Mitigasi Limpasan Permukaan pada DAS Arui, Kabupaten Manokwari, Papua Barat

## (Scenarios of Soil Conservation on Oil Palm for Surface Runoff Mitigation on Arui Watershed, Manokwari Regency, West Papua)

Mahmud

(Diterima Mei 2022/Disetujui Desember 2022)

### ABSTRAK

Indonesia, negara dengan potensi hutan dan lahan yang tinggi pertumbuhan ekonominya, masih mengandalkan pemanfaatan kedua potensi tersebut. Penelitian ini bertujuan membuat skenario konservasi pada perkebunan sawit agar mampu memitigasi limpasan permukaan. Data yang dikumpulkan antara lain hidrologi, lahan, luas perkebunan sawit, dan topografi yang dianalisis berdasarkan ancaman dan potensi konservasi yang dapat diterapkan. Skenario konservasi yang perlu dilakukan ialah (1) parit lorong buntu (plb), (2) tanaman campuran pohon dan sawit, (3) penanaman sawit tanpa pengolahan tanah, dan (4) pembedaman mulsa. Dari hasil simulasi rancangan plb, air hujan di lahan sawit mampu tertampung semua tanpa ada limpasan jika curah hujan lebat. Tanaman campuran pohon dan sawit mampu mempertahankan ketersediaan unsur hara, meningkatkan pendapatan pekebun sawit, dan berdampak baik pada kesuburan tanah. Penanaman sawit tanpa pengolahan tanah akan mengurangi aliran permukaan, memperbesar air masuk ke dalam tanah, dan memperluas daerah resapan air. Pembedaman mulsa sawit bermanfaat untuk mempertahankan kelembapan tanah, menambah unsur hara, mempertinggi kemampuan tanah menyerap air dan mencegah erosi. Skenario konservasi dalam jangka panjang seperti plb, tanaman campuran pohon dan sawit, penanaman sawit tanpa pengolahan tanah, dan pembedaman mulsa mampu memitigasi banjir.

Kata kunci: DAS Arui, mitigasi, limpasan permukaan, sawit, skenario konservasi

### ABSTRACT

Indonesia, a country with high forest and land potential for economic growth, still relies on utilizing these two potentials. This study aims to create a conservation scenario in palm oil plantations that are expected to be able to mitigate surface runoff. The data collected include hydrology, land, area of oil palm plantations, and topography, which were analyzed based on threats and potential conservation that can be applied. Conservation scenarios that need to be carried out are: deadlock alley ditch (dad), mixed tree and palm oil plantations, planting oil palm without land cultivation, and immersing mulch. The simulation results of the dad design, if it rains heavily, all of the rainwater in the palm oil fields can be accommodated without a runoff. Mixed tree and oil palm plants are expected to maintain the availability of nutrients, increase the income of oil palm smallholders, and have a good impact on soil fertility. Planting oil palm without land cultivation is expected to reduce surface runoff, increase water infiltration into the soil, and expand water catchment areas. The immersion of palm mulch is expected to help retain soil moisture, add nutrients, enhance the soil's ability to absorb water, and prevent erosion. Conservation scenarios in the long term, such as dad, mixed tree and oil palm plantations, oil plantations without land cultivation, and mulch immersion, are expected to be able to mitigate flooding.

Keywords: Arui watershed, conservation scenario, mitigation, oil palm, surface runoff

### PENDAHULUAN

DAS Arui adalah salah satu dari 2.145 DAS tersebar di seluruh Indonesia yang berstatus perlu dipulihkan (KLHK 2019). Berdasarkan SK Menhut no. 328/Menhut-II/2009, DAS yang berada di Provinsi Papua Barat ini dikategorikan DAS yang perlu segera mendapat prioritas penanganan. Menurut BPDASHL

Program Studi Kehutanan, Fakultas Kehutanan, Universitas Papua, Jl. Gunung Salju Amban, Manokwari, Papua Barat 98314

Penulis Korespondensi: Email: mahmudalya6@gmail.com

Remu Ransiki (2017), DAS ini ditandai dengan tingkat erosi yang tinggi, sedimen yang selalu meningkat menurut hasil pemantauan dan evaluasi tahun 2017, dengan nilai rendah. Banjir terjadi tahun 2015, 2016, dan 2018. Adapun beberapa dampak DAS yang harus dipulihkan antara lain berupa kejadian banjir, tanah longsor, sedimentasi, dan erosi yang dapat mengakibatkan terganggunya perekonomian dan tata kehidupan masyarakat.

Penyebab banjir di DAS Arui secara berturut-turut disebabkan antara lain oleh curah hujan tinggi, alih fungsi lahan, kerapatan DAS, gradien sungai, dan bentuk DAS (Mahmud *et al.* 2018). Alih fungsi lahan

yang didominasi perkebunan kelapa sawit seluas 4.729,81 ha (21,46%) meliputi kawasan DAS hilir seluas 4.688,68 ha dan DAS tengah seluas 41,13 ha. Alih fungsi hutan menjadi perkebunan sawit dan hutan tanaman industri yang berlebih menjadi penyebab banjir lebih dari satu bulan di Kabupaten Sintang, Provinsi Kalimantan Barat. Perubahan tersebut ditengarai sangat berpengaruh pada curah hujan yang semula tertahan, tertampung, dan tersimpan di kawasan tangkapan (*catchment*) cenderung menjadi aliran permukaan yang berdampak genangan.

Alih fungsi menjadi perkebunan sawit menyebabkan air tidak terbagi merata pada seluruh kawasan DAS, yang akan yang berdampak banjir di DAS Arui. Alih fungsi skala besar dan masif sering kali membawa permasalahan ekologi yang tidak diinginkan dan berdampak negatif. Peningkatan permintaan pasar tingkat nasional maupun global akan produk sawit dan pertumbuhan ekonomi memicu perluasan perkebunan sawit di dalam kawasan hutan. Perluasan perkebunan sawit ke dalam kawasan hutan ini telah memengaruhi fungsi ekologi yang berpengaruh pada ekosistem, seperti aliran permukaan, erosi, dan sedimentasi. Kehilangan unsur hara, peningkatan aliran permukaan, dan erosi pada perkebunan kelapa sawit berumur 5 tahun, lebih besar daripada perkebunan kelapa sawit berumur 3 tahun, yang berdampak pada penurunan kualitas tanah (Purwanto *et al.* 2019). Permasalahan tersebut memerlukan strategi yang komprehensif, seperti tindakan konservasi pada tingkat tapak, sehingga dapat memitigasi dampak kerusakan lingkungan.

Konservasi tanah pada perkebunan menurut Idjudin (2011) ialah dengan metode konservasi mekanik pengolahan tanah menurut kontur, saluran pembuangan air (SPA), rorak, pembuatan teras, cekdam sumbat *gully*, guludan, dan bangunan terjunan air (BTA). Implementasi rehabilitasi hutan dan lahan dengan penanaman vegetatif dan sipil teknis memberikan respons limpasan permukaan dan hasil sedimen yang menurun (Auliyani 2020; Triasary *et al.* 2021). Tanah pada sawit dikonservasi bersama-sama dengan terasering, tanaman disusun secara barisan, tanaman penutup tanah dan serasah mampu Mengendalikan limpasan dan kehilangan tanah (Satriawan *et al.* 2017). Menurut Asbur & Ariyanti (2017) konservasi tanah pada sawit menggunakan tanaman penutup tanah dan teras gulud dapat meningkatkan cadangan karbon dan bahan organik tanah. Teknik konservasi tanah dan air pada perkebunan sawit untuk mitigasi banjir, erosi, dan eutrofikasi di antaranya ialah parit drainase, tapak kuda, biopori, guludan/teras gulud biopori, aplikasi pelepah, teras kontur. Adapun teknik secara hayati adalah manajemen gulma dan penanaman *legum cover crop* (LCC) (Pradiko *et al.* 2014). Menurut Jayanti & Iswahyudi (2020), metode konservasi tanah pada perkebunan sawit secara vegetatif dengan memanfaatkan serasah dengan menyusun pelepah hasil penjarangan (*prunning*) dengan tujuan menekan pertumbuhan gulma dan

mencegah terjadinya erosi, sementara cara mekanik dilakukan dengan menerapkan parit dan rorak.

Pada awal tahun 1980 terjadi perubahan besar di DAS Arui, salah satunya alih fungsi hutan ke perkebunan sawit dengan luas 4.729,81 ha (21,46%) yang diduga menjadi penyebab limpasan permukaan yang berdampak banjir tahun 2014, 2016, dan 2018 (Mahmud *et al.* 2021b). Seharusnya alih fungsi ditindaklanjuti dengan upaya memperbaiki tata air, lahan, dan vegetasi dalam DAS melalui konservasi tanah dan air karena hujan sebagai input air pada suatu kawasan cenderung tidak berubah. Padahal secara ekologi, dengan alih fungsi terdapat perubahan besar dalam lahan seperti pemerataan lahan dan kehilangan daerah resapan. Vegetasi yang beragam telah hilang, misalnya tumbuhan bawah, perdu, semak belukar, dan berbagai tingkatan pohon. Sementara itu, perubahan pada tata air adalah hilangnya sungai-sungai kecil yang berfungsi menampung air, berkurangnya jumlah cekungan yang bermanfaat menahan air, menurunnya kemampuan tanah menahan, menyimpan, dan meresapkan. Sebagai dampak semua itu, pola tata air sangat berubah yang pada akhirnya limpasan permukaan dengan cepat menuju sungai.

Banjir sebagai dampak dari limpasan permukaan ekstrem telah terjadi di Distrik Masni, Kabupaten Manokwari. Kawasan DAS hilir 4.688,68 ha ditanami sawit dan sepanjang kanan-kiri sungai semua pohon dibabat habis, padahal sempadan sungai seharusnya adalah kawasan lindung. Bencana banjir sebagai dampak alih fungsi hutan ke perkebunan sawit sudah sering terjadi di DAS Arui. Kerusakan DAS ini tidak dapat dibiarkan mengingat fungsinya menjaga kualitas air, mencegah banjir, longsor, limpasan permukaan, dan sedimentasi. Oleh karena itu, perlu skenario konservasi tanah yang dapat diterapkan. Penelitian ini bertujuan menyusun berbagai skenario konservasi tanah pada perkebunan sawit sehingga diharapkan DAS Arui berubah menjadi semakin baik dan mampu memitigasi limpasan permukaan.

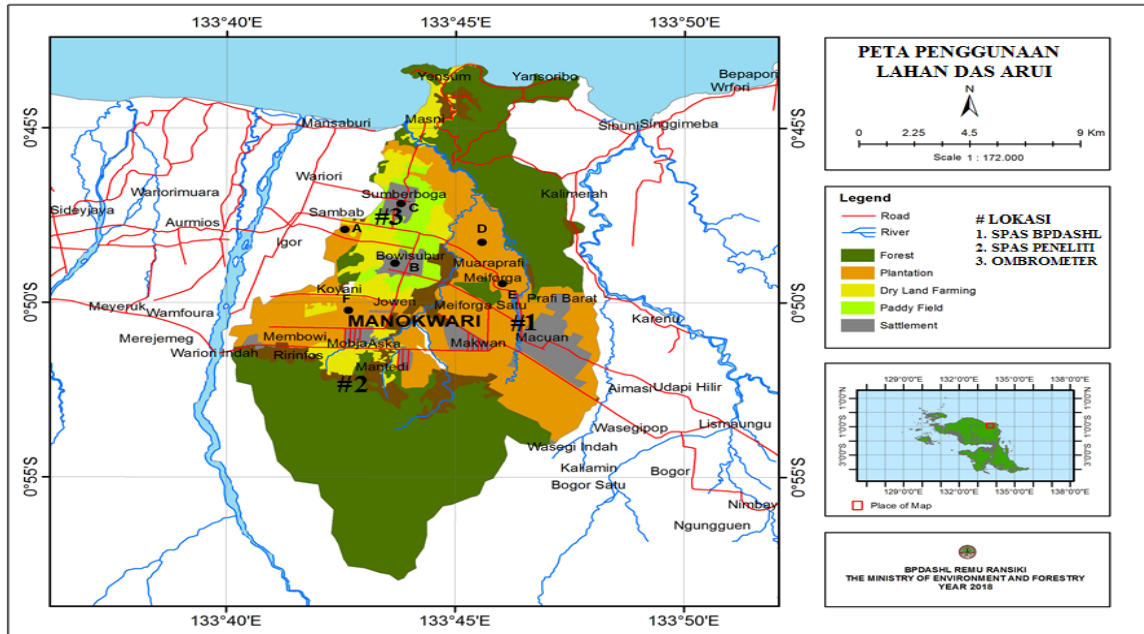
## METODE PENELITIAN

### Waktu dan Lokasi Penelitian

Penelitian dilakukan selama 5 bulan mulai Oktober 2021 sampai Februari 2022. Lokasi penelitian di Balai Pengelolaan Daerah Aliran Sungai (BPDAS) Remu Ransiki dan Laboratorium Pengelolaan Daerah Aliran Sungai (PDAS) Fahutan UGM. DAS Arui secara geografis terletak pada 0°43' LS–0°57' LS dan 133°40' BT – 133°48' BT (Gambar 1).

### Bahan dan Alat

Bahan yang digunakan dalam penelitian antara lain data spasial berupa peta administrasi dan peta topografi DAS Arui, data curah hujan diperoleh melalui SPAS DAS Arui, lahan dan luas lahan sawit, serta potensi sawit (tandan kosong sawit). Peranti yang digunakan adalah *Microsoft Office* 2016.



Gambar 1 Lokasi penelitian di Balai Pengelolaan Daerah Aliran Sungai (BPDAS) Remu Ransiki.

**Pelaksanaan**

Perancangan konservasi tanah dengan parit lorong buntu (plb) diawali dengan pengumpulan data luas lahan sawit, jarak tanam, dan potensi curah hujan. Luas lahan sawit hasil pengukuran dengan citra adalah 4.729,81 ha (BPDAS 2017). Simulasi di atas kertas ukuran Plb (dalam, lebar, panjang) ialah 1 m × 1 m × 8 m; 1 m × 1 m × 9 m; 2 m × 1 m × 9 m, 1 m × 0,5 m × 8 m; 1 m × 0,5 m × 9 m; 2 m × 0,5 m × 9 m, jumlah curah hujan pada lahan sawit, air yang tertampung dan persentase air tertampung. Volume curah hujan pada lahan sawit diperoleh dari curah hujan (mm) dikonversi menjadi cm<sup>3</sup>, dengan cara curah hujan × luas mulut ombrometer. Simulasi plb pada curah sebesar 42 mm/hari dan curah hujan 218 mm/hari (ekstrem) diperoleh dari SPAS tahun 2016. Setelah diperoleh volume air, dikalikan dengan luas lahan sawit (4.729,81 ha). Air yang tertampung diperoleh dari perkalian rancangan volume plb. Lahan yang dapat dibuat plb dan luas lahan sawit ialah:

$$\% A = (ATs - CHs) \times 100\%$$

Keterangan:

- A = Air tertampung
- ATs = Air tertampung Plb pada sawit
- CHs = Curah hujan pada sawit

Persen air tertampung dalam plb dapat bernilai positif atau negatif. Positif berarti daya tampung masih sisa (berlebih) yang memungkinkan diisi air, sedangkan negatif berarti daya tampung kurang, yang akan menjadi air limpasan. Sementara itu, pengumpulan data untuk metode tanaman campuran pohon dan sawit, penanaman sawit tanpa pengolahan tanah, dan pembedaan mulsa menggunakan telaah pustaka untuk memperkaya keuntungan dan pemanfaatannya.

**Analisis Data**

Skenario diawali dengan menentukan perancangan teknik konservasi tanah, potensi sisa sawit, pohon dan lahan yang memungkinkan dapat diterapkan. Tanaman campuran pohon dan sawit, penanaman sawit tanpa pengolahan tanah, dan pembedaan mulsa didasarkan pada manfaat yang mampu mengendalikan aliran permukaan. Skenario plb jika limpasan 0% plb masih dapat menampung air dan atau air tertampung semua; jika lebih dari 0%, plb tidak dapat menampung air (kemampuan daya tampung lebih) yang berdampak limpasan permukaan.

**HASIL DAN PEMBAHASAN**

Perubahan besar alih fungsi hutan ke perkebunan sawit selama ini kurang disadari, akan tetapi setelah terjadi limpasan permukaan yang menyebabkan banjir, yang disalahkan ialah hujan intensitas tinggi. Desain (skenario) dalam mitigasi banjir menjadi sangat penting karena berkaitan dengan pemanfaatan lahan yang tidak mengabaikan fungsi ekologi. Beberapa skenario konservasi tanah yang dapat diterapkan agar pembangunan di luar bidang kehutanan, seperti perkebunan sawit, tetap menjaga kelestarian lingkungan, di antaranya ialah parit lorong buntu (plb), pencampuran sawit dan pohon, penanaman sawit tanpa pengolahan tanah, dan pembedaan mulsa.

**Parit Lorong Buntu (plb)**

Parit lorong buntu adalah galian tanah yang berbentuk U, dibuat memotong lereng yang berfungsi untuk menampung dan meresapkan aliran permukaan. Plb merupakan modifikasi dari parit dan rotrak. Menurut Kodoatie & Sugiyanto (2002), rotrak akan memperbanyak penyerapan air di bagian hulu dan tengah serta

memperlambat debit pada bagian hulu. Berbeda dengan parit, yang biasanya berupa lubang yang dibuat memanjang kemudian disalurkan ke sungai agar air cepat hilang (Gambar 2), sebagaimana parit-parit yang dibuat pada lahan gambut yang ditanami kelapa sawit. Parit dibuat sepanjang kebun kelapa sawit kemudian disalurkan ke sungai. Sementara rorak lubang seperti sumur gali yang berfungsi menampung air limpasan. Secara umum rorak dibuat dengan ukuran panjang 1–2 m, lebar 0,25–0,50 m, dan dalam 0,20–0,30 m, atau panjang 1–2 m, lebar 0,3–0,4 m, dan dalam 0,4–0,5 m. Menurut Pratiwi & Salim (2013), semakin dekat jarak antar-rorak, semakin kecil aliran permukaan, semakin banyak air yang tertampung, dan semakin rendah erosi serta kehilangan unsur hara.

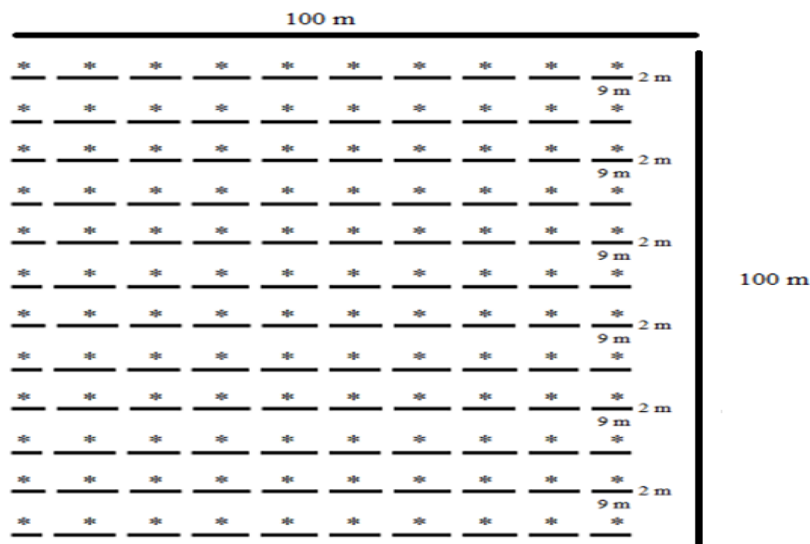
Plb diharapkan bermanfaat untuk memperbesar peresapan air ke dalam tanah, memperlambat limpasan air, dan sebagai tempat menyimpan tanah

yang tererosi, sehingga sedimen tanah lebih mudah dikembalikan. Plb dibuat di antara tanaman kelapa sawit dengan panjang 9 m, lebar 2 m, dan dalam 0,5–1 m. Jika dibuat ukuran 2 m x 1 m x 9 m dengan batas tiap plb 1 m x 2 m (Gambar 3), maka dalam 1 jalur (100 m) akan ada 10 plb, dengan demikian luas per jalur adalah 180 m<sup>2</sup>. Jarak tanam sawit 8 m x 9 m, maka akan ada 12 plb/ha; dengan demikian luas plb adalah 2160 m<sup>2</sup>/ha. Jika plb dibuat dengan kedalaman 1 m, maka air yang ditampung adalah 2160 m<sup>3</sup>/ha. Dari simulasi di perkebunan kelapa sawit DAS Arui yang luasnya 4.729,8 ha, maka air yang mampu ditampung di plb adalah 10.216.390 m<sup>3</sup> (Tabel 1).

Berdasarkan Tabel 1 simulasi hasil rancangan plb dengan kedalaman 1 m dan curah hujan 42 mm, maka air tertampung semua. Akan tetapi, pada curah hujan sangat lebat, antara 100 mm dan 150 mm, daya tampung plb ukuran 1 m x 1 m x 8 m dan 1 m x 1 m x 9



Gambar 2 Parit di antara tanaman sawit pada DAS Arui.



Gambar 3 Rancangan Plb. \* = Tanaman sawit dan — = Plb ukuran 2 m lebar x 1 m dalam x 9 m panjang.

Tabel 1 Simulasi rancangan plb kedalaman 1 m pada perkebunan sawit

Curah hujan (mm)	Jumlah curah hujan di sawit (m <sup>3</sup> )	Ukuran Plb (m <sup>3</sup> )	Daya tampung air di Plb (m <sup>3</sup> )	Air tampung	% Air tertampung	% Limpasan permukaan
42	1.995.979,8	2x1x9	10.216.390	+8.220.410	100	0
		1x1x9	5.108.194	+3.112.214	100	0
		1x1x8	4.540.618	+2.544.638	100	0
100	4.729.810	2x1x9	10.216.390	+5.486.580	100	0
		1x1x9	5.108.194	+378.384	100	0
		1x1x8	4.540.618	-189.192	96	4
150	7.094.715	2x1x9	10.216.390	+3.121.675	100	0
		1x1x9	5.108.194	-1.986.521	72	28
		1x1x8	4.540.618	-2.554.097	64	36
218	10.310.986	2x1x9	10.216.390	-94.596	99	1
		1x1x9	5.108.194	-5.202.792	49	51
		1x1x8	4.540.618	5.770.368	44	56

m tidak mencukupi, sehingga terjadi aliran permukaan sebesar 4–36%; akan tetapi pada plb ukuran 2 m × 1 m × 9 m aliran permukaan cukup rendah, yakni 4%. Jika curah hujan 150 mm (sangat lebat) dan ukuran plb 2 m × 1 m × 9 m, maka volume air hujan (intersepsi dan infiltrasi diabaikan) di lahan sawit sebesar 7.094.715 m<sup>3</sup> tertampung semua (100%). Plb hampir mirip dengan kolam resapan kecil (krk) yang telah diterapkan di perkebunan cokelat. Menurut Mahmud *et al.* (2021a), hasil simulasi krk ukuran 3 m × 1 m × 1 m pada curah hujan lebat dan sangat lebat di perkebunan cokelat tidak terjadi limpasan permukaan.

Hasil galian tanah plb diratakan ke seluruh permukaan tanah. Pada awal pembukaan lahan sawit, pembuatan Plb tidak banyak terkendala karena biasanya perusahaan menggunakan alat berat seperti buldozer. Buldozer mudah bergerak untuk menggali tanah dan meratakan hasil galian ke seluruh areal. Akan tetapi pada lahan yang telah ditanami sawit, penggalian tanah harus hati-hati. Harus dipilih buldozer yang lebih ramping. Terlebih lagi tanaman sawit yang masih muda dengan tinggi 1–3 m, akan sulit buldozer menggali dan pemeratakan tanah. Pada tanaman sawit yang masih muda, sebaiknya penggalian dengan cangkul atau alat berat berukuran kecil agar tidak mengganggu tanaman. Pada tanaman sawit yang telah berumur, tambahan tanah yang diletakkan di dekat batang sawit akan menambah unsur hara, sehingga diharapkan pohon sawit lebih produktif dan penggunaan pupuk berkurang. Jika jarak tanam sawit 8–9 m, sebenarnya tidak ada kendala bagi alat berat untuk menggali dan pemeratakan hasil galian ke seluruh lahan.

Pada Tabel 1 disajikan rancangan plb jika curah hujan sebesar 218 mm (ekstrem) walaupun jarang terjadi. Jika ukuran plb 2 m × 1 m × 9 m, maka volume air hujan (intersepsi dan infiltrasi diabaikan) di lahan sawit adalah 10.310.986 m<sup>3</sup>, daya tampung plb 10.216.390 m<sup>3</sup>, sehingga 99,00% air tertampung, sedangkan 1% menjadi aliran permukaan tanah yang akan mengalir ke sungai, pemukiman, pertanian, dll. Sementara itu, jika curah hujan di bawah 218 mm, dengan ukuran plb 2 m × 1 m × 9 m, volume air hujan

akan tertampung semua tanpa aliran permukaan tanah. Oleh karena itu ukuran plb 2 m × 1 m × 9 m adalah yang terbaik dibandingkan ukuran lain, sebab tidak ada aliran permukaan. Semakin banyak aliran permukaan yang tertampung dalam perkebunan kelapa sawit, semakin berkurang air yang masuk ke sungai. Sebaliknya, aliran permukaan yang banyak akan mengancam dan menjadi musibah seperti banjir pada 29 Februari 2016. Demikian juga, semakin banyak air terdistribusi merata pada kawasan DAS dan tidak mengumpul pada satu titik, maka banjir akan terhindarkan.

Simulasi plb kedalaman 0,5 m tertera pada Tabel 2. Jika rancangan kedalaman plb hanya 0,5 m dan curah hujan 100–150 mm (sangat lebat), maka aliran permukaan adalah 28–68%. Demikian juga, jika curah hujan semakin besar, misalnya 218 mm (ekstrem), maka aliran permukaan adalah 51–78%. Dengan demikian, pemangku kepentingan seperti perusahaan dan petani sawit harus dapat memilih plb yang tepat untuk mitigasi banjir. Jika ingin menyelamatkan DAS Arui dan menghindari bencana banjir maka sebaiknya dipilih rancangan plb ukuran 2 m × 1 m × 9 m, karena hanya 1% aliran permukaan jika curah hujan ekstrem.

Namun, bergantung pada pemilik lahan sawit, apakah pilihan kedalaman 1 m atau 0,5 m, karena ada keuntungan dan kerugiannya. Plb mendatangkan kerugian bagi petani dan masyarakat yang memelihara babi, kambing, sapi, dan hewan piaraan lain, tetapi hewan dilepas. Dengan kedalaman plb 1 m, anak hewan akan sulit keluar jika terperosok ke dalam Plb. Plb yang telanjur dimanfaatkan untuk memelihara ikan, ikan akan dicuri atau dimangsa hewan lain apabila tidak diawasi. Petani yang sibuk dan banyak pekerjaan sampingan tentu tidak sempat membuat plb dan memasukkan pelepah sawit. Membuat plb banyak mendatangkan keuntungan dan kerugian, akan tetapi demi memitigasi banjir masyarakat harus diajak untuk menyelesaikan masalah banjir di DAS Arui. Pemerintah harus mengajak petani, perusahaan sawit, dan masyarakat sekitar untuk bermusyawarah agar penerapan plb dapat memitigasi banjir. Pemerintah harus mengingatkan bahwa DAS Arui pernah banjir dan dimungkinkan akan banjir lagi jika tidak diupayakan

Tabel 2 Simulasi hasil rancangan Plb kedalaman 0,5 m pada perkebunan sawit

Curah hujan (mm)	Jumlah curah hujan di sawit (m <sup>3</sup> )	Ukuran plb (m <sup>3</sup> )	Daya tampung air di plb (m <sup>3</sup> )	Sisa air tampung	% Air tertampung	% Limpasan permukaan
42	1.995.979,8	2 × 0,5 × 9	5.108.194	+3.112.214	100	0
		1 × 0,5 × 9	2.554.097	+558.118	100	0
		1 × 0,5 × 8	2.270.309	+274.329	100	0
100	4.729.810	2 × 0,5 × 9	5.108.194	+378.384	100	0
		1 × 0,5 × 9	2.554.097	-2.175.713	54	46
		1 × 0,0 × 8	2.270.309	-2.459.501	48	52
150	7.094.715	2 × 0,5 × 9	5.108.194	-1.986.521	72	28
		1 × 0,5 × 9	2.554.097	-4.540.618	36	64
		1 × 0,5 × 8	2.270.309	-4.824.406	32	68
218	10.310.986	2 × 0,5 × 9	5.108.194	-5.202.792	49	51
		1 × 0,5 × 9	2.554.097	-7.756.889	25	75
		1 × 0,5 × 8	2.270.309	-8.040.677	22	78

memitigasi, salah satunya dengan menerapkan plb. Pemerintah harus menawarkan *win-win solution* sampai masyarakat, petani, perusahaan sawit, sadar dengan sendirinya.

Sebagai ilustrasi, plb ukuran 2 m × 1 m × 9 m mampu menampung air 10.216.390 m<sup>3</sup>, setara dengan 235 Embung Kulak Secang ukuran tinggi 10 m, panjang as 87,5 m, dan lebar ambang 5 m, dengan kapasitas tampung total 43.431,00 m<sup>3</sup> (Tabel 3). Akan tetapi jika dibuat plb ukuran 2 m × 0,5 m × 9 m, mampu menampung air 5.108.194, setara dengan 118 embung Kulak Secang. Dengan demikian, banyak air yang tertahan dan tersimpan sebagaimana penanggulangan banjir pada kawasan hilir yang sering menerima banjir kiriman. Menurut Risi *et al.* (2018), daerah tangkapan air harus membangun bendungan yang menampung air sangat besar. Plb dapat menggantikan daerah resapan yang dahulu ada tetapi sekarang berubah menjadi lahan sawit. Oleh karena daerah resapan berkurang, dapat terjadi banjir dan kekeringan sebagaimana pernyataan Sukmawardhono & Nugroho (2020), bahwa bencana banjir, kekeringan, dan longsor adalah dampak dari kurangnya luas kawasan hutan yang berfungsi sebagai daerah resapan.

Pelaksanaan konservasi dengan plb bertolak belakang dengan embung. Dengan membangun embung, lahan tidak dapat digunakan untuk bercocok tanam, mengingat semua terdiri atas air. Akan tetapi dengan plb, kawasan masih terdiri atas tanah, di sela-sela tanah dan tanaman dibuat parit yang dapat menampung dan menyimpan air. Dengan demikian, akan lebih banyak air yang tersimpan di dalam tanah dan hanya sedikit yang mengalir di permukaan tanah untuk selanjutnya ke sungai. Pembangunan embung diperkirakan mencapai Rp1.945.786.000/embung (biaya pembangunan embung Kulak Secang), maka 118 embung akan menghabiskan Rp229,6 miliar. Jika dana tersebut digunakan untuk pemberdayaan masyarakat asli Papua, pengentasan kemiskinan atau pembangunan fasilitas umum, manfaatnya lebih besar daripada untuk membangun embung. Selain itu, saat ini tidak perlukan pembangunan embung di DAS Arui yang bertujuan untuk ketersediaan air dan mengairi lahan pertanian. Di kawasan DAS Arui air sangat

melimpah dan untuk pengairan masyarakat memanfaatkan sungai-sungai kecil dengan cara dibendung dan sebagian mendapatkan pengairan dari sarana irigasi yang dibuat oleh Pemerintah. Dengan demikian, saat ini belum diperlukan membangun embung pada DAS Arui.

Plb diharapkan mempunyai banyak manfaat di antaranya: pelepah daun sawit dan limbah sawit seperti cangkang, bungkil, dan tandan kosong sawit (TKS) dapat dimasukkan kedalam plb yang diharapkan dalam waktu 2–3 bulan telah terdekomposisi. Hasil dekomposisi dan sedimen yang terendapkan di plb secara berkala, baik setiap 2–3 bulan dikembalikan di sekitar pohon sawit. Dengan plb, unsur hara hasil dekomposisi dan sedimen tidak terbawa ke sungai, akan tetapi tersimpan di parit buntu. Hal ini sependapat dengan Pratiwi & Salim (2013), bahwa jika kehilangan tanah oleh erosi, aliran permukaan dan kehilangan unsur hara kecil, maka pertumbuhan tanaman akan semakin baik sebab kebutuhan hara dan air relatif terpenuhi. Petani sawit akan mengurangi biaya pupuk karena telah tersedia pupuk organik hasil dekomposisi pelepah daun sawit, cangkang, bungkil, dan TKS. Selama ini pelepah sawit yang telah dipotong berserakan di sekitar pohon sawit, yang tentu agak lama terdekomposisi. Akan tetapi, jika dikumpulkan dan diletakkan dalam Plb, bercampur dengan sedimen dan air, pelepah akan mudah terurai menjadi bahan organik.

Dewasa ini lembaga swadaya masyarakat mempropagandakan bahwa sawit rakus air, yang berdampak kekeringan dan kekurangan air. Jika memang benar sawit rakus air, tidak akan menjadi masalah apabila kawasan DAS Arui di tanami kelapa sawit, mengingat hujan terjadi sepanjang tahun. Menurut Baskoro (2017), kelapa sawit termasuk tanaman dengan perakaran tergolong dangkal dan berakar serabut sehingga mudah mengalami cekaman kekeringan. Tanaman ini berakar dangkal sehingga tidak mampu menyimpan air sebaik pohon. Hal ini menyebabkan tanaman kelapa sawit membutuhkan curah hujan yang merata sepanjang tahun agar dapat berproduksi secara maksimum. Kedalaman air tanah yang dangkal pada DAS Arui menyebabkan air selalu

tersedia dan tidak akan berdampak kekeringan. Dengan demikian, jika di antara tanaman sawit dibuat plb yang dapat menampung air dalam jumlah besar, bahkan banjir 2–3 hari tidak akan menyebabkan kerusakan. Berdasarkan hasil wawancara dengan petani sawit, tanaman sawit mampu tahan genangan selama 2–3 hari. Melalui plb air tidak menggenangi tanaman kelapa sawit, tetapi air tergenang di antara pohon sawit dengan jarak 3 m.

Beberapa tahun lalu negara-negara yang mengalami kekeringan dan kebakaran hutan, seperti Australia, India, dan Pakistan, tidak memiliki kebun sawit. Diduga bahwa perubahan iklim global berdampak kekeringan ekstrem menyebabkan kekurangan air dan kebakaran. Di wilayah Indonesia, ada 2 provinsi (NTB dan NTT) yang mengalami kekeringan cukup panjang akan tetapi tidak mempunyai kebun sawit. Dengan demikian, tidak ada kaitan antara kebun sawit dan kekeringan. Dalam konservasi tanah dan air, kelapa sawit dapat melindungi tanah melalui struktur pelepah sawit yang bertingkat-tingkat, dan jarak tanam yang rapat mampu mengurangi dan menahan air untuk tidak segera sampai ke tanah. Jangan sampai izin perkebunan sawit dicabut karena alasan tidak peduli akan lingkungan. Sebagaimana Presiden Republik Indonesia akan mencabut izin perusahaan yang tidak berkomitmen untuk ikut menyejahterakan rakyat dan menjaga kelestarian lingkungan. Pada awal Januari 2022, Pemerintah telah mencabut hak guna usaha (HGU) perkebunan yang ditelantarkan seluas 34.448 ha. Dari luasan tersebut sebanyak 25.128 ha adalah milik 12 badan hukum, sisanya 9.320 ha, merupakan bagian dari HGU yang telantar milik 24 badan hukum

(Alika 2022).

**Percampuran Sawit dengan Pohon (Sawit+forestry)**

Percampuran sawit dengan pohon merupakan cara penting lainnya dalam upaya konservasi tanah, yaitu dengan menanam berbagai jenis tanaman (sawit dan pohon) secara bersamaan. Sawit dan pohon telah ditanam dalam luasan kecil sampai sedang dengan berbagai pola (Budiadi *et al.* 2019; Slingerland *et al.* 2019). Menurut Rahmani *et al.* (2021) jarak percampuran tanaman sela dan sawit harus optimum agar tidak mengalami kesulitan dalam praktik pemanenan sawit dan menambah waktu panen. Adapun percobaan percampuran sawit dan pohon dengan jarak tanam yang berbeda-beda Tabel 4. Percampuran sawit dengan pohon harus mempertimbangkan jarak tanam yang optimum agar tiap vegetasi mendapatkan ruang yang cukup untuk memperoleh sinar matahari dan tidak saling bersaing memperoleh unsur hara. Jarak tanam yang baik bermanfaat meningkatkan peluang sawit dengan pohon untuk tumbuh dan berkembang. Menurut Rahmani *et al.* (2021), usaha tani kebun campur sawit atau *agroforestry* sawit dapat memberikan pendapatan yang lebih tinggi dibandingkan dengan hanya perkebunan sawit saja. Selain itu percampuran sawit dengan pohon berpeluang untuk pengembangan ekonomi rumah tangga melalui pendapatan yang beragam baik dari sawit maupun produk kayu dan bukan-kayu, dan banyak serasah di permukaan tanah.

Serasah yang banyak akan mampu mencegah aliran permukaan, erosi, dan sedimentasi, mencegah hama/penyakit, memberantas tumbuhan pengganggu

Tabel 3 Spesifikasi embung kulak secang

Kolam embung	Tubuh embung	Bangunan pelimpah
Elevasi muka air maksimum : + 107,99	Tipe: homogen <i>earth fill</i> El. puncak: 109,00 m	Tipe: <i>non gated overflow</i> El. ambang: 107,00 m
Elevasi muka air normal : + 107,00	Lebar puncak: 5,00 m Tinggi embung: 10,00 m	Lebar ambang: 5,00 m Debit banjir rencana: 10,33 m <sup>3</sup> /dt
Elevasi muka air minimum : + 101,00	Panjang as embung: 87,50 m	Bahan konstruksi: pasangan batu kali
Luas daerah genangan (hwl) ha. Kapasitas tampung total 43.431,00 m <sup>3</sup> Kapasitas tampung efektif 41.632,00 m <sup>3</sup>		

Sumber: Departemen Pertanian (1994).

Tabel 4 Kombinasi di antara tanaman *agroforestry* sawit dan jarak tanam

Pola	Kombinasi tanaman	Jumlah tanaman/ha (pohon)						
		Sawit (9x8m)	Jengkol (3x3m)	Petai (3x3m)	Durian (5x5m)	Sungkai (3x3m)	Meranti (3x3m)	Jelutong (3x4m)
I	Semua sawit	140						
II	Sawit dan jengkol	81	1,11					
III	Sawit dan petai	81		1,11				
IV	Sawit dan durian	81			400			
V	Sawit dan sungkai	81				1,11		
VI	Sawit dan meranti	81					1,11	
VII	Sawit dan jelutong	81						833

Sumber: Rahmani *et al.* (2021).

(gulma), dan mempertahankan sifat fisik tanah dengan cara mengembalikan sisa-sisa tanaman ke dalam tanah. Adapun pohon berdampak baik pada kesuburan tanah, antara lain meningkatkan bahan organik yang berasal dari dekomposisi bunga, buah, daun, ranting, cabang, dahan, dan batang yang lapuk. Berbagai jenis vegetasi akan mengurangi kehilangan bahan organik tanah dan hara dalam mengurangi aliran permukaan, pencucian hara, erosi, dan memitigasi banjir. Hal ini sejalan dengan Miccolis *et al.* (2019) dan Zemp *et al.* (2019), bahwa tanaman campuran sawit dan pohon berpotensi baik untuk meningkatkan fungsi ekologi seperti meningkatkan biodiversitas pohon, serapan karbon, resapan air, dan memitigasi risiko banjir serta kekeringan. Campuran tanaman pohon dan sawit diharapkan akan memperbaiki sifat fisik dan kimia tanah, meningkatkan kemampuan menahan, meresapkan, dan menyimpan air serta perbaikan kehidupan biota, meningkatkan fiksasi N pohon legum melalui peningkatan jumlah bintil akar bila akar pohon legume tersebut tumbuh berdekatan atau kontak langsung dengan akar tanaman bukan-pemfiksasi N (mungkin karena adanya perpindahan langsung dari unsur N atau rendahnya ketersediaan N dalam tanah yang meningkatkan efektivitas bintil akar).

Sementara itu, jika percampuran sawit dengan pohon tergolong siklus hara semi-tertutup, karena pada penanaman kedua jenis tegakan ini ada upaya konservasi tanah melalui pengembalian bagian-bagian pohon ke tanah dan tindakan manusia. Menurut Hairiah *et al.* (2010), dalam sistem agroforestri siklus hara dan karbon lebih tertutup (semi-tertutup) dibandingkan sistem pertanian monokultur. Penambahan bahan organik oleh pohon dapat berasal dari bagian tajuk di atas tanah dan ada upaya melindungi tanah agar tidak terjadi erosi dan kehilangan unsur hara, dan meningkatkan resapan air. Sawit yang ditanam bersama pohon berarti memasukkan unsur vegetasi ke dalam sistem pertanian monokultur, yang akan menambah unsur hara dan karbon dalam sistem tersebut. Peningkatan kandungan karbon dan unsur lain selain merupakan hasil dekomposisi serasah pohon, juga terkait dengan fungsi pohon sebagai jaring penyelamat dan pemompa hara, sehingga mengurangi jumlah hara yang hilang (Hairiah *et al.* 2010). Sebaliknya, pertanian monokultur atau perkebunan saja termasuk siklus hara terbuka. Jumlah hara yang kembali ke dalam tanah melalui daun, bunga, kulit, buah, ranting, dan cabang yang gugur dalam pengembalian sisa panen lebih sedikit bahkan tidak ada (sumber hara semua diangkut ke luar), sehingga setiap tahun terjadi defisit hara. Akibatnya, tanaman pada musim berikutnya akan mengalami kahat hara, sehingga perlu diberi pupuk.

Konflik kepentingan antara ekonomi dan ekologi banyak ditemukan di Indonesia (Harbi *et al.* 2018; Nurrochmat *et al.* 2021). Sawit+pohon memiliki potensi untuk meningkatkan ekonomi rumah tangga melalui berbagai pendapatan rumah tangga petani dari sawit,

hasil hutan kayu maupun bukan-kayu. Di samping petani memperoleh hasil perkebunan berupa sawit dan hasil pohon, ekosistem tidak terabaikan. Menurut Rahmani *et al.* (2021), kebun campuran sawit dapat memberikan pendapatan yang lebih tinggi dibandingkan dengan hanya tanaman sawit. Selain itu, lahan mampu menghasilkan buah untuk meningkatkan pendapatan petani, perlindungan terhadap tata air dalam bentuk mempertahankan, meresapkan, dan menyimpan air, tetap berfungsi.

### Penanaman Sawit Tanpa Pengolahan Tanah

Sekitar 45% wilayah Nusantara berupa perbukitan, dataran tinggi, dan pegunungan yang dicirikan oleh topo-fisiografi yang beragam, sehingga praktik pertanian di lahan dataran tinggi memiliki posisi strategis dalam pembangunan pertanian nasional (Departemen Pertanian 2006). Selain itu, topografi yang beragam menguntungkan Indonesia sebagai Negara agraris yang menghasilkan buah, sayuran, dan umbi-umbian yang melimpah. Akan tetapi, jika pertanian dan perkebunan dilakukan secara terus menerus di daerah agak curam, bahkan curam, tanpa melaksanakan konservasi tanah dan air, dampaknya ialah produktivitas lahan turun, erosi, dan longsor. Permukaan tanah yang beragam ini sangat cocok untuk pertanian jangka panjang seperti perkebunan.

Pada awal pembukaan lahan sawit, secara umum lahan yang bergelombang diratakan agar memudahkan aksesibilitas baik untuk petani menanam bibit sawit, merawat, mengambil sawit, dan mengeluarkan sawit ke industri. Secara ekonomis perataan ini sangat menguntungkan karena menghemat waktu, tenaga, dan biaya. Akan tetapi, secara ekologi kawasan yang rata akan mempercepat aliran permukaan, mengurangi resapan air, dan memperkecil air tersimpan. Sebaliknya, jika tidak diratakan (permukaan bergelombang), aliran permukaan berkurang, lebih banyak air masuk ke dalam tanah, dan daerah resapan air bertambah luas (Sukmawardhono & Nugroho 2020). Secara umum wilayah perkebunan berada pada DAS tengah, dan apabila permukaan tanah harus diratakan akan menjadi masalah di DAS hilir.

Saat ini perkebunan sawit di DAS Arui didominasi di DAS hilir (99,13%) dengan topografi datar dan DAS tengah (0,87%) dengan topografi agak curam. Saat hujan, daerah dengan topografi agak curam air dengan mudah mengalir ke daerah lebih rendah (hilir) jika daerah tersebut kosong dari berbagai jenis pohon. Akan tetapi, jika permukaan tanah diabaikan, saat hujan air akan lebih banyak tertahan, tersimpan, dan terserap ke dalam tanah (Mahmud *et al.* 2021a). Seperti kasus banjir di Kabupaten Sintang (Provinsi Kalimantan Barat), perkebunan sawit tidak kebanjiran sementara di pemukiman terjadi banjir lebih dari 1 bulan. Hal ini karena tidak ada air yang tertahan pada perkebunan sawit, semua air menjadi limpasan menuju pemukiman dan kawasan perkotaan.





Gambar 4 Tandan kosong sawit.

### Pembenaman Mulsa

Buah kelapa sawit dapat dipanen setiap bulan dengan produksi buah tandan segar berkisar 4,17 ton/ha. Setiap sawit yang dipanen menghasilkan limbah seperti cangkang, bungkil, limbah cair, limbah gas, dan TKS. Sebagai ilustrasi, setiap 1 ton buah kelapa sawit/tandan buah segar (TBS) akan dihasilkan TKS sebanyak 22–23% atau 220–230 kg (Gambar 4) dengan kandungan minyak sekitar 50% (500 kg). Dari luas perkebunan sawit di DAS Arui (4.729,81 ha) dan produksi 4,17 ton/ha, diperoleh 19.723,31 ton TBS. Sementara itu limbah padat berupa TKS sebesar  $19.723,31 \times 230 \text{ kg} = 4.536.361,3 \text{ kg}$  setara dengan 4.536,36 ton TKS. TKS yang relatif banyak ini sangat mubazir jika hanya dibuang sambarangan ataupun dibakar, padahal TKS dapat digunakan sebagai kompos atau mulsa (Gambar 5). Di Indonesia, kandungan unsur hara makro (N, P, K, Mg, dan Ca) pada limbah TKS cukup tinggi sehingga baik untuk digunakan sebagai pupuk organik (kompos) (Hatta *et al.* 2021).

Menurut (Mohammad *et al.* 2012), pengolahan TKS untuk dijadikan kompos merupakan alternatif yang terbaik dibandingkan dengan ditimbun sebagai mulsa di lahan perkebunan kelapa sawit. Pembenanaman mulsa untuk menambah unsur hara dalam tanah dan mempertinggi kemampuan tanah dalam menyerap air. Sisa-sisa tanaman dapat dibenamkan agar cepat terdekomposisi yang fungsinya untuk mempertahankan kelembapan tanah. Mulsa dapat berasal pelepah sawit dan bungkil sawit, dan sampah organik dari pabrik sawit menambah bahan organik tanah. Satriawan *et al.* (2017) berpendapat bahwa konservasi tanah pada perkebunan kelapa sawit melalui pemanfaatan mulsa dan tanaman penutup tanah mampu mengendalikan aliran permukaan dan erosi. Kompos (bahan organik) berperan dalam meningkatkan ketahanan struktur tanah, memperbesar kemampuan tanah untuk menyerap dan menahan air hujan yang jatuh, dan menambah unsur hara (Arsyad 2010). Pelepah sawit dan mulsa lain dari sawit yang tidak dibenamkan dapat mengurangi erosi dengan cara meredam energi hujan yang jatuh sehingga tidak merusak struktur tanah, mengurangi kecepatan dan



Gambar 5 Pupuk organik (kompos).

jumlah aliran permukaan sehingga mengurangi kecepatan aliran permukaan.

## KESIMPULAN

Dari hasil kajian ini diperoleh rancangan plb jika curah hujan setinggi 150 mm/hari (sangat lebat), dengan ukuran plb  $2 \text{ m} \times 1 \text{ m} \times 9 \text{ m}$ , volume air hujan (intersepsi dan infiltrasi diabaikan) di lahan sawit sebesar  $7.094.715 \text{ m}^3$  tertampung 100%. Tanaman campuran pohon dan sawit akan berdampak baik pada kesuburan tanah melalui peningkatan bahan organik dan unsur hara yang berasal dari dekomposisi bunga, buah, daun, ranting, cabang, dahan, dan batang yang lapuk sehingga mengurangi limpasan permukaan. Penanaman sawit tanpa pengolahan tanah, permukaan lahan tidak diratakan (dibiarkan bergelombang) akan mengurangi aliran permukaan, memperbanyak air tersimpan dan terserap ke dalam tanah, memperbesar daerah resapan air. Pembenanaman mulsa sawit seperti cangkang, bungkil, dan TKS, bermanfaat untuk mempertahankan kelembapan tanah, menambah unsur hara, mempertinggi kemampuan tanah dalam menyerap air dan mencegah erosi tanah. Oleh karena itu, melalui konservasi plb, tanaman campuran pohon dan sawit, penanaman sawit tanpa pengolahan tanah, dan pembenanaman mulsa mampu memitigasi limpasan permukaan dan jangka panjang banjir di DAS Arui.

## DAFTAR PUSTAKA

- Alika R. 2022. Jokowi Cabut 34.448 Hektare Hak Guna Usaha yang Telantar. [internet] Diakses tanggal 7 Desember 2022. Tersedia pada <https://katadata.co.id/yuliawati/berita/61d6a6c7210aa/jokowicabut-34448-hektare-hak-guna-usaha-yang-telantar>.
- Arsyad S. 2010. *Konservasi Tanah dan Air*. Bogor (ID): IPB Press.

- Asbur Y, Ariyanti M. 2017. Peran konservasi tanah terhadap cadangan karbon tanah, bahan organik, dan pertumbuhan kelapa sawit (*Elaeis guineensis* Jacq.) The role of soil conservation to soil carbon stocks, organic matter, and oil palm (*Elaeis guineensis* jacq.) Growth. *Jurnal Kultivasi*. 16(3): 402–411. <https://doi.org/10.24198/kltv.v16i3.14446>
- Astuti R, Miller MA, McGregor A, Sukmara MDP, Saputra W, Taylor D. 2022. Making illegality visible: The governance dilemmas created by visualising illegal palm oil plantations in Central Kalimantan, Indonesia. *Land use Policy*. 114, 105942. <https://doi.org/10.1016/j.landusepol.2021.105942>
- Auliyani D. 2020. Upaya Konservasi Tanah dan Air pada Daerah Pertanian Dataran Tinggi di Sub-Daerah Aliran Sungai Gandul (Soil and Water Conservation Efforts in the Highland Agriculture Area in Gandul Sub Watershed). *Jurnal Ilmu Pertanian Indonesia*. 25(3): 382–387. <https://doi.org/10.18343/jipi.25.3.382>
- Baskoro DPT. 2017. *Kelapa Sawit: Benarkah Rakus Air ? Media untuk Kemajuan Pertanian Indonesia Buletin Faperta IPB*. [internet] Diakses pada: 18 Maret 2022. Tersedia pada: <https://faperta.ipb.ac.id/kelapa-sawit-benarkah-rakus-air>
- Budiadi, Susanti A, Marhaento H, Imron MA, Permadi DB, Hermudananto. 2019. Oil palm agroforestry: an alternative to enhance farmers' livelihood resilience. *Institute of Physics Conference. Series: Earth and Environmental Science* 336. 12001. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/336/1/012001>
- BPDASHL Remu Ransiki. 2017. *Laporan Monitoring dan Evaluasi Pengelolaan DAS Wosi tahun 2017*. Jakarta (ID): Kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan.
- Departemen Pertanian. 2006. *Peraturan Menteri Pertanian Nomor: 47/Permentan/OT. 140/10/2006 Tentang Pedoman Umum Budidaya Pertanian pada Lahan Pegunungan*. Jakarta (ID): Badan Litbang Pertanian, Departemen Pertanian.
- Hairiah K, Utami SR, Lusiana B, Noordwijk MV. 2010. *Neraca hara dan karbon dalam sistem agroforestry*. Diakses pada: 23 September 2022 Tersedia pada <http://apps.worldagroforestry.org/downloads/Publications/PDFS/LN02285.PDF>
- Harbi J, Erbaugh JT, Sidiq M, Haasler B, Nurrochmat DR. 2018. Making a bridge between livelihoods and forest conservation: Lessons from non timber forest products' utilization in South Sumatera, Indonesia. *Forest Politic. Economic*. 94: 1–10. <https://doi.org/10.1016/j.forpol.2018.05.011>
- Hatta M, Jafri, Permana D. 2014. Pemanfaatan tandan kosong sawit untuk pupuk organik pada *intercropping* kelapa sawit dan jagung. *Jurnal Pengkajian dan Pengembangan Teknologi Pertanian* 17(1): 27–35.
- Ijudin A, Abas. 2011. Peranan konservasi lahan dalam pengelolaan perkebunan (The Role of Land Conservation in Plantation Management). *Jurnal Sumberdaya Lahan*. 5(2): 103–116.
- Jayanti ND, Iswahyudi H. 2020. Konservasi Tanah Pada Perkebunan Kelapa Sawit Tanaman Menghasilkan Di PT. Citra Putra Kebun Asri Jorong Tanah Laut (Soil Conservation on Oil Palm Plantations of Mature in Pt. Citra Putra Kebun Asri Jorong Tanah Laut). *Agrisains: Jurnal Budidaya Tanaman Perkebunan Politeknik Hasnur*, 6(1): 18–23. <https://doi.org/10.46365/agrs.v6i01.368>
- KLHK. 2019. *KLHK dan Kementeriann ESDM berkomitmen percepat upaya Reklamsi Hutan dan Rehabilitasi DAS*. No:SP.144/HUMAS/PP/HMS. [internet]. Diakses tanggal 23 Maret 2022. Tersedia pada <http://ppid.menlhk.go.id>.
- Kodoatie RJ, Sugiyanto, 2002. *Banjir Beberapa Penyebab dan Metode Pengendaliannya Dalam Perspektif Lingkungan*. Yogyakarta (ID): Pustaka Pelajar.
- Mahmud, Kusumandari A, Sudarmadji, Supriyatno N. 2018. *A Study of Flood Causal Priority in Arui Watershed, Manokwari Regency, Indonesia*. *Jurnal Manajemen Hutan Tropika*. 24(2): 81–94. <https://doi.org/10.7226/jtfm.24.2.81>
- Mahmud, Wijaya D, Wahyudi, Kusumandari A. 2021a. Evaluasi Daya Dukung dan Skenario Konservasi DAS Wosi di Kabupaten Manokwari, Papua Barat (Evaluation of Carrying Capacity and Conservation Scenarios of Wosi Watershed at Manokwari Regency, West Papua). *Jurnal Ilmu Kehutanan*. 15(2): 231–246. <https://doi.org/10.22146/jik.v15i2.1759>
- Mahmud, Wahyudi, Bataradewa S, Budirianto HJ, Mutakim, Muhlis LO. 2021b. Hubungan curah hujan terhadap limpasan permukaan dan sedimen pada berbagai penggunaan lahan di DAS Arui, Kabupaten Manokwari (*The relationship of rainfall on surface runoff and sediments on various land use in Arui Watershed, Manokwari Regency*). *Jurnal Ilmu Tanah dan Lingkungan*. 23(2): 85–92. <https://doi.org/10.29244/jitl.23.2.85-92>
- Miccolis A, Robiglio V, Cornelius JP, Blare T, Castellani D. 2019. *Oil palm agroforestry: fostering socially inclusive and sustainable production in Brazil*. In Exploring inclusive palm oil production (hlm. 55–62). Wageningen (ND): Tropenbos International.
- Mohammad, NMZ, Kabbashi NA, Ahsan A. 2012. *Effective composting of oil palm industrial waste by filamentous fungi: A review*. *Resources, Conservation and Recycling* 58: 69–78. <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2011.10.009>

- Nurrochmat DR, Pribadi R, Siregar H, Justianto A, Park MS. 2021. Transformation of Agro-Forest Management Policy under the Dynamic Circumstances of a Two-Decade Regional Autonomy in Indonesia. *Forests*. 12(4): 1–17. <https://doi.org/10.3390/f12040419>
- Permenhut, 2009. *Permenhut No. 328/Menhut-II/2009 tentang Prioritas DAS Indonesia*. Jakarta (ID): Pemerintah Republik Indonesia.
- Pradiko I, Darlan NH, Santoso H. 2014. Teknik konservasi tanah dan air di perkebunan kelapa sawit dalam menghadapi perubahan iklim. [internet] Diakses pada: 30 Januari 2023 *Tersedia pada* [https://www.researchgate.net/profile/Iput-Pradiko/publication/332971386\\_Teknik\\_Konservasi\\_Tanah\\_dan\\_Air\\_di\\_Perkebunan\\_Kelapa\\_Sawit\\_dalam\\_Menghadapi\\_Perubahan\\_Iklim/links/5cd44eb9299bf14d95849de2/](https://www.researchgate.net/profile/Iput-Pradiko/publication/332971386_Teknik_Konservasi_Tanah_dan_Air_di_Perkebunan_Kelapa_Sawit_dalam_Menghadapi_Perubahan_Iklim/links/5cd44eb9299bf14d95849de2/)
- Pratiwi, Salim AG. 2013. Application of Silt Pit Soil Conservation System on Gmelina (*Gmelina arborea* Roxb.) Planting in Forest Area in Special Purposes Carita, Banten. *Jurnal Penelitian Hutan dan Konservasi Alam*. 10(3): 273–282.
- Purwanto E, Jaya A, Widiastuti L, Birawa C, Adji FF, Anwar M. 2019. Kajian erosi, aliran permukaan dan kehilangan hara pada tanaman kelapa sawit dengan umur yang berbeda (Study of erosion, runoff and nutrient losses from oil palm plantation with different ages). *Jurnal Agripeat*. 20(2): 81–91. <https://doi.org/10.36873/aggp.v20i02.143>
- Purwanto E, Santoso H, Jelsma I, Widayati A, Nugroho HYSH, Van Noordwijk M. 2020. *Agroforestry as policy option for forest-zone oil palm production in indonesia*. *Land*, 9(12): 531. <https://doi.org/10.3390/land9120531>
- Risi, RD, Paola FD, Turpie J, Kroeger T. 2018. *Life Cycle Cost and Return on Investment as complementary decision variables for urban flood risk management in developing countries*. *Int. J. Disaster Risk Reduct.* 28 88–106 journal homepage [www.elsevier.com/locate/ijdr](http://www.elsevier.com/locate/ijdr). <https://doi.org/10.1016/j.ijdr.2018.02.026>
- Rahmani TA, Nurrochmat DR, Hero Y, Park MS, Boer R, Satria A. 2021. Evaluating the feasibility of oil palm agroforestry in Harapan Rainforest, Jambi, Indonesia. *Forest. Society*. 5(2): 458–477. <https://doi.org/10.24259/fs.v5i2.10375>
- Satriawan H, Fuady Z, Agusni. 2017. *Soil conservation techniques in oil palm cultivation for sustainable agriculture*. *Jurnal Pengelolaan Sumberdaya Alam dan Lingkungan*. 7(2): 178–183. <https://doi.org/10.29244/jpsl.7.2.178-183>
- Slingerland M, Khasanah N, van Noordwijk M, Susanti A, Meilantina M. 2019. *Improving smallholder inclusivity through integrating oil palm with crops*. In *Exploring inclusive palm oil production* (pp. 147–154). Wageningen, The Netherlands: Tropenbos International. Retrieved from <http://www.etfrn.org/publications/exploring+inclusive+palm+oil+production>
- Sukmawardhono NA, Nugroho P. 2020. Pengaruh perubahan guna lahan terhadap infiltrasi di hulu DAS Beringin (land use change effects to infiltration on the upper beringin watershed). *Jurnal Pembangunan Wilayah dan Kota*. 16(4): 253–262.
- Triasary K, Purwanto MYJ, Tarigan SD. 2021. Beberapa skenario penggunaan lahan untuk perbaikan kondisi hidrologi di Daerah Aliran Sungai Cidurian (*Land use scenarios for hydrological conditions improvement in Cidurian Watershed*). *Jurnal Penelitian Pengelolaan Daerah Aliran Sungai*. 5(2): 121–140. <https://doi.org/10.20886/jppdas.2021.5.2.121-140>
- Wawan, Ariani E, Lubis HR. 2019. Sifat Kimia Tanah dan Produktivitas Kelapa Sawit (*Elaeis guineensis* Jacq.) pada Tinggi Muka Air Tanah yang Berbeda di Lahan Gambut. *Jurnal Agroteknologi*. 9(2): 27–34. <https://doi.org/10.24014/ja.v9i2.5823>
- Winarna, Murtalaksono K, Sabiham S, Sutandi A, Sutarta ES. 2015. Effect of Ground Water Level and Steel Slag Application on Soil Moisture Variability and Actual Hydrophobicity of Peat Soil in Oil Palm Plantation. *Jurnal Agronomi*. 14(1): 15–22. <https://doi.org/10.3923/ja.2015.15.22>
- Zemp DC, Ehbrecht M, Seidel D, Ammer C, Craven D, Erkelenz J, Kreft H. 2019. Mixed-species tree plantings enhance structural complexity in oil palm plantations. *Agriculture, Ecosystems & Environment*. 283: 106564. <https://doi.org/10.1016/j.agee.2019.06.003>