

IDENTIFIKASI KEDALAMAN PIRIT DAN KAITANNYA TERHADAP KESEHATAN DAN PRODUKTIVITAS TANAMAN KELAPA SAWIT (*Elaeis guineensis* Jacq.) (STUDI KASUS DI PERKEBUNAN PT SAWIT SUMBERMAS SARANA Tbk)

*Identifying Pyrite Layer Depth and Its Association to Oil Palm (*Elaeis guineensis* Jacq.) Health and Productivity (A Case Study at PT Sawit Sumbermas Sarana Tbk's Oil Palm Plantation)*

Aris Primayuda^{1)*}, Abraham Suriadikusumah¹⁾, M. Amir Solihin¹⁾

¹⁾ Fakultas Pertanian, Universitas Padjadjaran Jl. Raya Bandung-Sumedang KM.21 Jatinangor, Sumedang (45363)

ABSTRACT

The pyrite layer (FeS_2) characterizes acid sulfate soil. Under oxidizing conditions, pyrite produces sulphuric acid, increasing acidic soil to very acidic (pH 2-3). This condition is a threat to the plantation, including oil palm plantations. Therefore, the management of acid sulfate soil must consider the depth of the pyrite layer. Studies on identifying pyrite and remote sensing in monitoring plant health are urgently required to optimize oil palm production in acid sulfate soil. In this case study, a detailed survey and mapping were performed to measure the depth of pyrite, followed by plant health analysis, and production analysis. The results showed that the depth of the pyrite layer at the site ranged from 30 cm to over 120 cm from the soil surface. The depth indicated that 72.40% of the soil was categorized as medium pyrite depth (60-120 cm). Furthermore, 484.85 ha was shallow pyrite layer (<60 cm) and deep pyrite layer (>120 cm) covered an area of 163.75 ha. There is a tendency for a positive linear relationship between pyrite depth, NDVI (normalized difference vegetation index) or plant health, and plant productivity. NDVI values, plant productivity, and deeper pyrite depth were identified as higher NDVI values following the deeper pyrite layer. Plant productivity on deep pyrite soil was significantly different from medium or shallow pyrite soil. The shallower pyrite layer was followed by lower oil palm production. The productivity has decreased by 39% and 19% in soil with pyrite depths of < 60 cm and 60 cm – 120 cm respectively. Several parameters can be improved to increase the productivity including land management with minimum tillage, improvements in the water management, soil fertility, and fruit set. Those improvements should also be followed by implementation of best management practices in the technical and operational cultivation activities

Key words: Acid sulfate, NDVI, oil palm, productivity, pyrite, sentinel

ABSTRAK

Lapisan pirit (FeS_2) merupakan penciri khusus dari tanah sulfat masam. Dalam kondisi teroksidasi, pirit menghasilkan asam sulfat yang dapat menyebabkan tanah menjadi masam sampai sangat masam (pH 2-3). Hal tersebut tentunya menjadi masalah dalam perkembangan tanaman, termasuk kelapa sawit. Oleh karena itu, pengelolaan tanah sulfat masam harus memperhatikan kedalaman lapisan pirit. Studi tentang identifikasi pirit dan penggunaan penginderaan jauh dalam memantau kesehatan tanaman sangat diperlukan untuk mengoptimalkan produksi kelapa sawit di tanah sulfat masam. Penelitian dilakukan dengan metode studi kasus mulai dari survei detil dan pemetaan kedalaman pirit, analisis kesehatan tanaman, dan analisis produksi. Hasil penelitian menunjukkan bahwa lapisan pirit di lokasi penelitian berada pada kedalaman 30 cm sampai lebih dari 120 cm dari permukaan tanah. Berdasarkan klasifikasi kedalaman pirit, lokasi penelitian didominasi oleh lahan dengan kedalaman pirit sedang (60-120 cm) seluas 1,701.33 ha. Sebagian areal lainnya memiliki kedalaman pirit dangkal (<60 cm) seluas 484.85 ha, dan pirit dalam (>120 cm) seluas 163.75 ha. Terdapat hubungan linier positif antara kedalaman pirit, nilai NDVI ((*normalized difference vegetation index*) atau kesehatan tanaman, dan produktivitas tanaman. Nilai NDVI dan produktivitas tanaman lebih baik dengan semakin meningkatnya kedalaman pirit. Hal ini terlihat dari nilai NDVI yang lebih tinggi seiring dengan semakin dalam tingkat kedalaman pirit. Produktivitas tanaman pada lahan dengan kedalaman pirit dalam, berbeda nyata dengan pirit sedang ataupun dangkal. Semakin dangkal kedalaman pirit, produksi kelapa sawit semakin menurun. Penurunan produksi pada kedalaman pirit sedang dan dangkal berturut-turut adalah 19% dan 39%. Tindakan pengolahan lahan minimum, perbaikan *water management*, kesuburan tanah, dan *fruit set* yang didukung dengan penerapan *best management practices* dalam kultur teknis dan operasional pendukungnya merupakan beberapa hal yang dapat dilakukan untuk meningkatkan produktivitas tanaman di lokasi penelitian.

Kata kunci: sulfat masam, NDVI, kelapa sawit, produktivitas, pirit, sentinel

PENDAHULUAN

Seiring dengan semakin terbatasnya lahan, pengembangan kebun kelapa sawit mengarah kepada lahan sub-optimal, salah satunya lahan sulfat masam. Lahan sulfat

masam adalah lahan yang memiliki lapisan pirit dan atau sulfurik pada kedalaman 120 cm dari permukaan tanah mineral (Subiksa dan Setyorini, 2009).

Pirit (FeS_2) adalah mineral sulfida yang terakumulasi pada tanah tergenang yang kaya kandungan

*) Penulis Korespondensi: Telp. +6281521691691; Email. primayuda@gmail.com

bahan organik dan mendapat tambahan sulfur yang umumnya dari air laut (Dent, 1986). Pada saat kondisi lahan basah atau tergenang, pirit tidak berbahaya bagi tanaman, akan tetapi, bila terkena udara (teroksidasi), pirit berubah bentuk menjadi besi dan asam sulfat yang dapat meracuni tanaman (Adhi *et al.*, 1997). Sejalan dengan hal tersebut, Shamshuddin *et al.* (2014), Suastika *et al.* (2014), dan Pusparani (2018) menyatakan bahwa adanya lapisan pirit menyebabkan tanah sulfat masam sulit dikelola untuk produksi tanaman. Selain bersifat masam, jenis tanah ini mengandung sangat banyak Al dan Fe yang dapat menjadi racun bagi tanaman, serta kandungan nutrisi tanaman yang rendah. Kedalaman pirit merupakan faktor utama yang harus dipertimbangkan dalam pengelolaan lahan sulfat masam. Apabila lapisan pirit tersebut dangkal, maka dapat menimbulkan masalah yang kompleks mengingat tanaman kelapa sawit memerlukan aerasi yang cukup sedangkan lapisan pirit harus tetap berada dalam kondisi tereduksi. Oleh karena itu kunci pengelolaan lahan sulfat masam adalah mengatur tinggi muka air tanah selalu di atas lapisan pirit untuk menghambat oksidasi pirit lebih lanjut (Santoso dan Susanto, 2020) dengan tetap memberikan ruang aerasi untuk perakaran tanaman (Winarna, 2017).

Hasil analisis produksi pada beberapa jenis tanah di PT Sawit Sumbermas Sarana Tbk (SSMS) menunjukkan bahwa rata-rata pencapaian produksi kebun kelapa sawit yang ditanam pada tanah sulfat masam masih berada jauh di bawah produksi kebun kelapa sawit yang ditanam pada tanah mineral, gambut, ataupun pasir. Rata-rata produksi tanaman kelapa sawit umur 8 tahun yang ditanam pada tanah mineral sebesar 27 ton ha⁻¹, di lahan gambut 23 ton ha⁻¹, dan pasir mencapai 22 ton ha⁻¹, sedangkan untuk tanaman yang ditanam pada sulfat masam hanya mencapai 14 ton ha⁻¹.

Menurut Pusparani (2018), hasil identifikasi karakteristik spesifik tanah sulfat masam di suatu wilayah sangat diperlukan sebelum pemanfaatan lahan tersebut. Hal ini sejalan dengan Sutarta *et al.* (2020) yang mengemukakan bahwa dalam upaya perbaikan pengelolaan kelapa sawit di lahan pasang surut memerlukan langkah-langkah dalam memahami keberadaan mineral pirit, sehingga dapat menghasilkan teknologi yang bermanfaat dalam meningkatkan produktivitas tanaman kelapa sawit pada lahan tersebut.

Salah satu pendekatan yang dapat digunakan untuk identifikasi kondisi lahan yaitu dengan metode survei dan pemetaan berbasis penginderaan jauh (*remote sensing*). Sejalan dengan perkembangan teknologi, saat ini dukungan penginderaan jauh memungkinkan dilakukannya analisis mengenai kesehatan tanaman dengan metode NDVI (*normalized difference vegetation index*) menggunakan data citra satelit (Dewi, 2019). NDVI adalah indikator tingkat kepadatan, tingkat kehijauan serta kondisi dari vegetasi suatu wilayah. Indikator ini dipengaruhi oleh tutupan tanah terutama jenis vegetasi, kerapatan hingga tingkat kehijauan suatu vegetasi. Hal tersebut erat kaitannya dengan kapasitas fotosintesis dari vegetasi yang menutupi permukaan tanah. NDVI merupakan kombinasi matematis antara band NIR (*near-infrared radiation*) dan band merah yang telah lama digunakan sebagai indikator keberadaan dan kondisi vegetasi (Saputra, 2021).

Penelitian ini bertujuan untuk mengidentifikasi dan memetakan kedalaman pirit, serta menganalisis

keragaan produktivitas tanaman kelapa sawit pada tiga kelas kedalaman pirit menggunakan pendekatan penginderaan jauh. Hasil dari kajian ini dapat menjadi salah satu data pendukung dalam upaya untuk optimalisasi produksi kebun kelapa sawit di lokasi penelitian

BAHAN DAN METODE

Penelitian ini dilakukan dari bulan April 2021 sampai dengan bulan Januari 2022 di Badirih Estate, Menteng Kencana Mas, PT Sawit Sumbermas Sarana Tbk yang berlokasi di Kecamatan Maluku, Kabupaten Pulang Pisau, Propinsi Kalimantan Tengah.

Bahan yang digunakan diantaranya cairan hidrogen peroksida (H₂O₂), peta dan identitas blok, serta data produksi lokasi penelitian tahun 2019-2021 yang bersumber dari *Estate Departement* PT Sawit Sumbermas Sarana Tbk (SSMS), dan Citra Sentinel 2B lokasi penelitian tahun 2020 dan 2021 dari *The European Space Agency*. Sedangkan untuk alat penelitian terdiri dari alat untuk survei lapangan dan alat untuk pengolahan data dan penulisan hasil penelitian. Alat untuk survei lapangan antara lain bor tanah, GPS Garmin 78s, meteran, dan alat tulis. Alat untuk pengolahan data dan penulisan hasil penelitian terdiri dari perangkat keras (*hardware*): komputer, *scanner*, *printer*. Dan perangkat lunak (*software*): Microsoft office 2019, ArcGis 10.8, global mapper 22.1, Agisoft *Photoscan*, *EOS Land Viewer*, dan SPSS 24.

Survei Detail dan Pemetaan Kedalaman Pirit

Survei kedalaman pirit dilakukan dengan menggunakan *grid system* 100 m x 100 m. artinya pengeboran dilakukan setiap 100 m sepanjang jalur pengamatan dengan interval 100 m mengikuti pola blok di kebun. Dengan demikian, satu titik pengamatan mewakili areal seluas ± 1 ha. Pengeboran dilakukan sampai kedalaman 120 cm. Identifikasi kedalaman bahan sulfidik (pirit) dilakukan dengan cara meneteskan cairan hidrogen peroksida (H₂O₂) pada setiap interval 10 cm dari lapisan penampang tanah. Hasil tetesan cairan hidrogen peroksida (H₂O₂) pada bahan sulfidik akan menimbulkan reaksi buih meledak-ledak yang menandakan adanya bahan sulfidik (pirit) di suatu lapisan tanah (Adhi *et al.*, 1997).

Data kedalaman pirit hasil identifikasi di lapangan selanjutnya dianalisis secara spasial dengan metode *inverse distance weighting* (IDW) menggunakan *software* ArcGIS 10.8. *Inverse distance weighting* (IDW) adalah salah satu metode interpolasi untuk menaksir suatu nilai pada lokasi yang tidak tersampel berdasarkan data disekitarnya. Metode ini sering digunakan dalam kegiatan eksplorasi karena dalam proses perhitungannya lebih sederhana dan mudah difahami (Purnomo, 2012). IDW merupakan metode geometrik dalam mencari titik yang tidak memiliki sampel X_0 dengan perhitungan statistik yang memperkirakan titik $Z'(X_0)$ berdasarkan data yang dimiliki di lokasi sekitarnya $Z(X_i)$ dengan perhitungan statistik sebagai berikut:

$$Z'(x_0) = \sum_{i=1}^n w_i Z(x_i)$$

Dimana w_i adalah bobot yang ditetapkan untuk setiap nilai $Z(X_i)$ dan n adalah jumlah titik data sampel tetangga terdekat yang digunakan untuk perkiraan. Yao *et al.* (2013) menyebutkan bahwa bobot untuk IDW biasanya sebanding

dengan kebalikan dari jarak kuadrat antara titik prediksi dan titik pengamatan yang jika ditotalkan berjumlah 1. Sebaran yang terbentuk merupakan gambaran kedalaman pirit di lokasi penelitian. Selanjutnya untuk perhitungan akurasi ketepatan prediksi dalam interpolasi menggunakan metode IDW dapat dilihat dari nilai *root mean square error* (RMSE) (Chai dan Draxler, 2014) dan *mean absolute percentage error* (MAPE) yang dapat dihitung dengan rumus sebagai berikut:

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum_{t=1}^n (X_t - Y_t)^2}{n}}$$

$$MAPE = \frac{\sum_{t=1}^n \left| \left(\frac{X_t - Y_t}{X_t} \right) \right| 100}{n}$$

dimana n merupakan jumlah sampel yang digunakan, X_t adalah data awal titik (data sebenarnya) dan Y_t adalah data titik hasil estimasi IDW.

Metode *Mean Absolute Percentage Error* (MAPE) memberikan informasi seberapa besar kesalahan peramalan dibandingkan dengan nilai sebenarnya dari series tersebut. Semakin rendah nilai MAPE, maka semakin baik juga akurasi metode peramalan yang digunakan. Menurut Hutasuhut *et al.* (2014) terdapat range nilai MAPE yang dapat dijadikan standard penilaian akurasi dari suatu metode peramalan, range nilai tersebut dapat dilihat pada Tabel 1.

Tabel 1. Standard penilaian akurasi peramalan berdasarkan nilai MAPE

Nilai MAPE	Signifikansi
<10%	Akurasi peramalan sangat baik
10-20%	Akurasi peramalan baik
20-50%	Akurasi peramalan layak (memadai)
>50%	Akurasi peramalan buruk

Kedalaman pirit selanjutnya diklasifikasikan menjadi tiga (3) kelas yaitu dangkal (kedalaman pirit <60 cm), sedang (kedalaman pirit 60-120 cm), dan dalam (kedalaman pirit >120 cm).

Pemilihan Blok-Blok Perwakilan di Setiap Kedalaman Pirit

Pemilihan blok-blok perwakilan sesuai kelas kedalaman pirit didasarkan homogenitas kondisi lahan, tahun tanam dan varietas. Pada penelitian ini digunakan blok perwakilan dengan tahun tanam 2016 dan varietas Topaz. Tinggi muka air tanah di blok-blok tersebut sekitar 40 sampai 60 cm di bawah permukaan tanah.

Analisis Kesehatan Tanaman

Analisis kesehatan tanaman dilakukan dengan pendekatan indeks vegetasi menggunakan metode *normalized difference vegetation index* (NDVI). Citra satelit yang digunakan yaitu citra Sentinel 2B merupakan citra multispektral hasil perekaman satelit yang diluncurkan oleh European Space Agency. Pengolahan data menggunakan EOS *Land Viewer*, sebuah *platform* berbasis *cloud* untuk memperoleh data geospasial dan analisis citra satelit. Citra Sentinel yang digunakan telah terkoreksi geometrik dan radiometric sehingga dapat langsung

digunakan untuk analisis indeks vegetasi. Analisis NDVI merupakan salah satu algoritma umum dalam analisis vegetasi (Taufik *et al.*, 2021) yang menggambarkan tingkat kehijauan tanaman. Indeks vegetasi tersebut merupakan kombinasi matematis antara band merah dan band NIR (*near-infrared radiation*) yang telah lama digunakan sebagai indikator keberadaan dan kondisi vegetasi.

Perhitungan NDVI didasarkan pada prinsip bahwa tanaman hijau tumbuh secara sangat efektif dengan menyerap radiasi di daerah spektrum cahaya tampak (PAR atau *Photosynthetically Active Radiation*), sementara itu tanaman hijau sangat memantulkan radiasi dari daerah inframerah dekat. Nilai NDVI berkisar dari -1 sampai 1. Semakin mendekati nilai 1, tanaman berarti semakin sehat. Perhitungan nilai NDVI berdasarkan persamaan sebagai berikut :

$$NDVI = \frac{(NIR - Red)}{(NIR + Red)}$$

Keterangan :

NIR = radiasi inframerah dekat

Red = radiasi cahaya merah

Selanjutnya dilakukan analisis regresi linier menggunakan *scatter plot* (diagram pencar) untuk mengetahui hubungan kedalaman pirit dengan nilai NDVI, dan hubungan antara nilai NDVI dengan produktivitas kelapa sawit di lokasi penelitian.

Analisis Produksi

Analisis produksi dilakukan dengan pendekatan *Yield gap analysis* dengan membandingkan rata-rata produksi blok-blok perwakilan di setiap kedalaman pirit terhadap rata-rata produksi tertinggi di lokasi tersebut dan tanah mineral non sulfat masam sebagai pembanding. Tujuan dari analisis tersebut adalah adanya peningkatan produksi yang dapat dicapai apabila proses perbaikan untuk mempersempit *yield gap* dapat tercapai (Hoffmann *et al.*, 2017). Besar *yield gap* diukur dengan rumus:

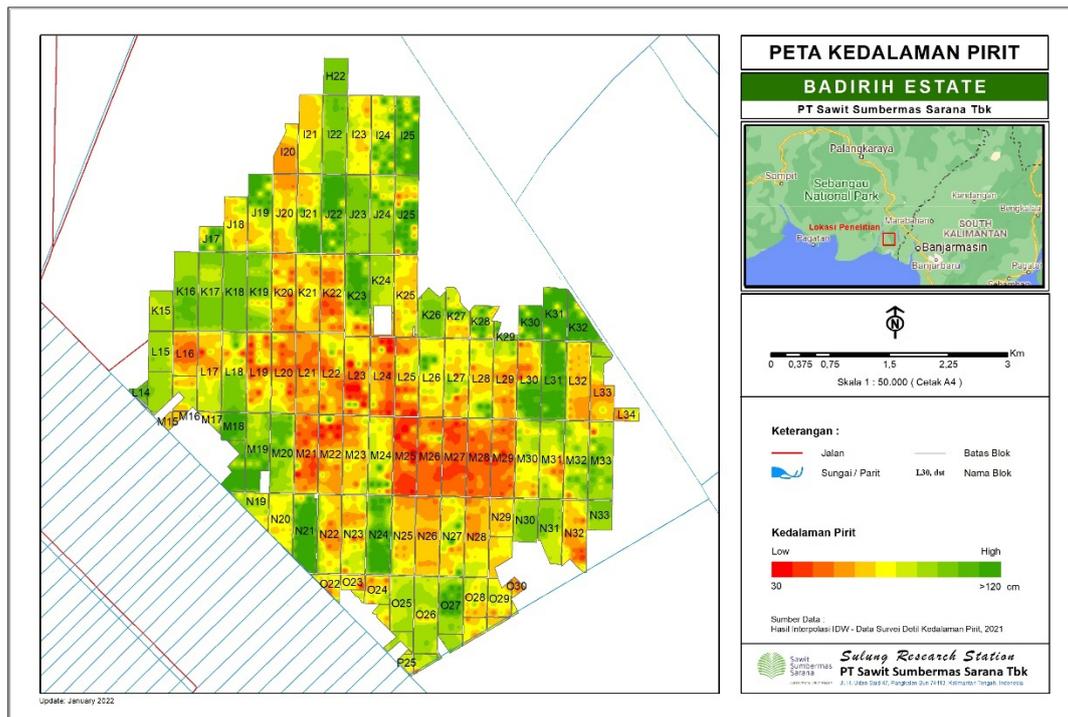
$$YG = \frac{(Y' - Y)}{Y'} \times 100 \%$$

Dimana YG adalah *yield gap*, Y' adalah produktivitas lahan yang menjadi acuan, Y adalah produktivitas lahan yang dinilai. Untuk mengetahui pengaruh kedalaman pirit terhadap sifat kimia tanah dan produksi tanaman kelapa sawit dilakukan uji Anova yang dilanjutkan dengan Uji Duncan.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Sebaran Kedalaman Pirit

Berdasarkan hasil pengamatan pada 2,424 titik (sesuai grid 100 x 100 m), lapisan pirit di lokasi penelitian berada pada kedalaman 30 cm sampai lebih dari 120 cm dari permukaan tanah. Peta kedalaman pirit (Gambar 1) diperoleh dari hasil interpolasi kedalaman pirit dengan metode IDW (*inverse distance weighting*) menggunakan ArcGis 10.8. Hasil perhitungan RMSE dan MAPE dari proses interpolasi yang dilakukan adalah 13.07 dan 18.56% artinya akurasi peramalan tergolong baik.



Gambar 1. Peta kedalaman pirit lokasi penelitian

Kedalaman pirit hasil interpolasi kemudian diklasifikasikan menjadi tiga kelompok berdasarkan tingkat kedalamannya yaitu pirit dangkal (kedalaman pirit <60), pirit sedang (kedalaman pirit 60-120 cm), dan pirit dalam (kedalaman pirit >120 cm). Hasil klasifikasi tersebut menunjukkan bahwa lokasi penelitian didominasi oleh lahan dengan kedalaman pirit sedang (60-120 cm) seluas 1,701.33 Ha atau 72.40 %. Sebagian areal lainnya memiliki kedalaman pirit dangkal seluas 484.85 Ha atau 20.63 %, dan pirit dalam seluas 163.75 Ha atau 6.97 % dari total luas (Tabel 2).

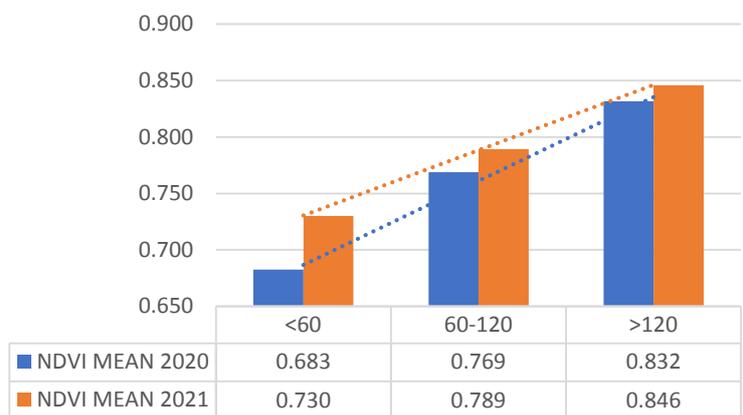
Tabel 2. Distribusi luas areal penelitian berdasarkan kedalaman pirit

Klasifikasi	Kedalaman Pirit	Luas	
		ha	%
Pirit Dangkal	< 60 cm	484.85	20.63
Pirit Sedang	60 - 90 cm	1,701.33	72.40
Pirit Dalam	>120 cm	163.75	6.97
Total		2,349.93	100.00

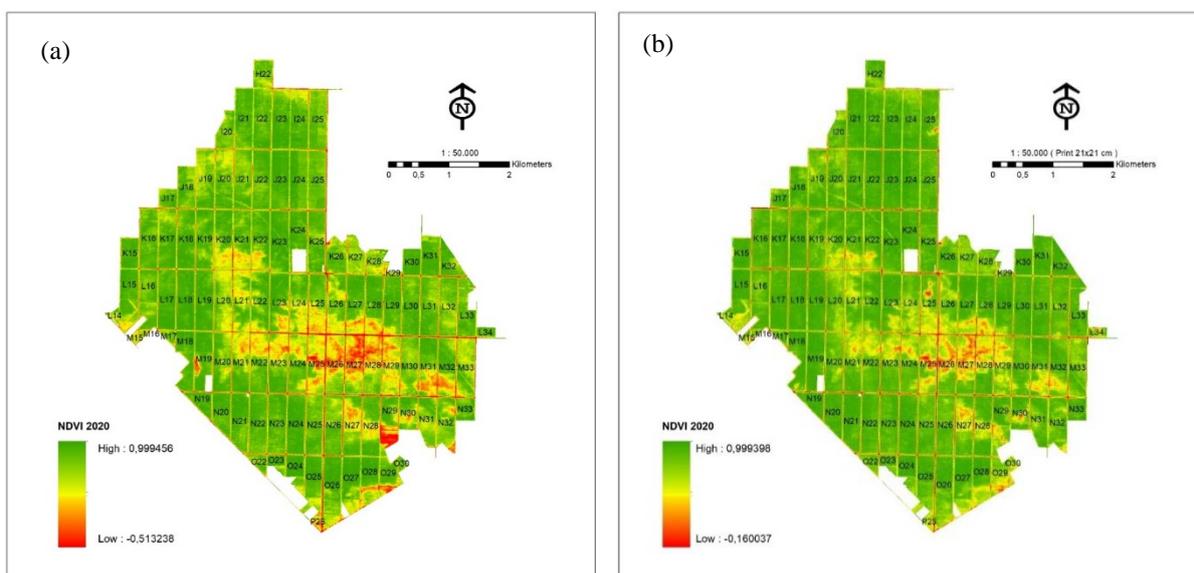
Kesehatan Tanaman

Band yang digunakan dalam analisis NDVI citra Sentinel 2B yaitu B8 untuk band NIR dan B4 untuk band Red. Hasil analisis NDVI Citra Sentinel 2B lokasi

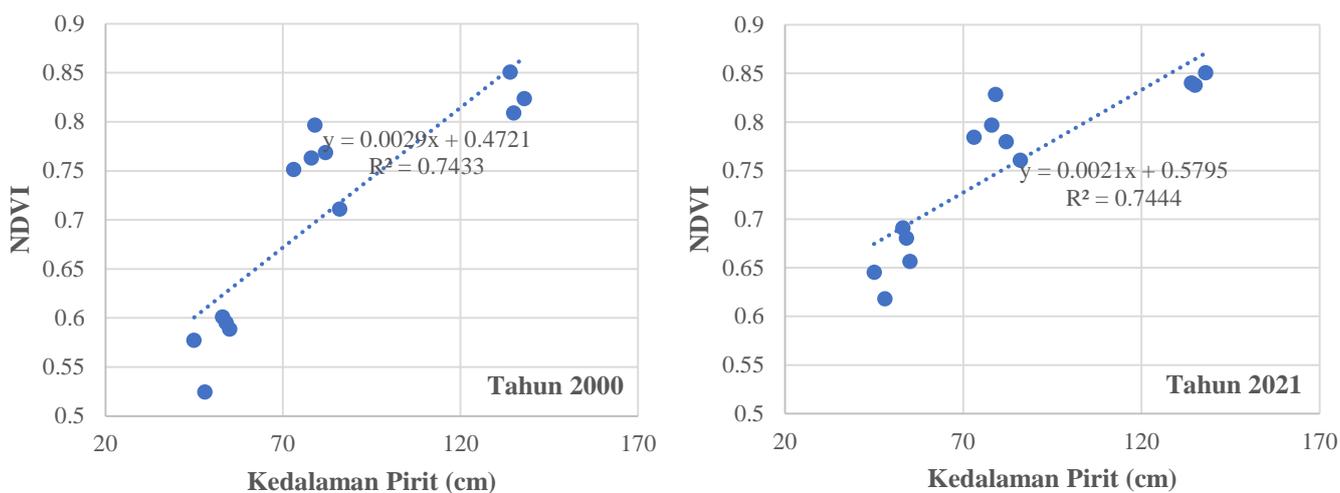
penelitian tahun 2020 dan 2021 menunjukkan bahwa terdapat kecenderungan semakin tingginya nilai rata-rata NDVI dengan semakin dalamnya lapisan pirit. Begitupun sebaliknya semakin dangkal tingkat kedalaman pirit, maka semakin rendah nilai rata-rata NDVI-nya. Hal ini mengindikasikan bahwa kesehatan tanaman yang ditanam di areal dengan kedalaman pirit yang dalam cenderung lebih baik dibandingkan dengan yang ditanam di areal dengan kedalaman pirit yang lebih dangkal. Pada tahun 2020, nilai NDVI pada lahan dengan kedalaman pirit dangkal (<60cm), sedang (60-90 cm), dan dalam (>120 cm) masing-masing yaitu 0.683, 0.769, dan 0.832. Sedangkan pada tahun 2021 nilainya rata-ratanya naik menjadi 0.730, 0.789, dan 0.846. Peningkatan nilai NDVI tahun 2021 diduga terkait persentase realisasi pemupukan yang tercapai 100%, sedangkan di tahun 2020 hanya tercapai 50%. Dengan pemupukan yang lebih baik kondisi kesehatan tanaman akan semakin baik. Lebih detail terkait perbandingan hasil NDVI lokasi penelitian berdasarkan citra Sentinel 2B tahun 2020 dan 2021 dapat dilihat pada Gambar 2 dan 3. Hubungan yang positif terlihat juga dari diagram sebar rata-rata kedalaman pirit dengan nilai NDVI (Gambar 4). Data tahun 2020, menghasilkan persamaan $Y = 0.0029x + 0.4721$ dengan R square 0.7433, sedangkan data tahun 2021 menghasilkan persamaan $Y = 0.0021x + 0.5795$ dengan R square 0.7444.



Gambar 2. Trend rata-rata nilai NDVI



Gambar 3. Sebaran Nilai NDVI : (a) tahun 2020, dan (b) tahun 2021



Gambar 4. Diagram sebaran rata-rata kedalaman pirit dan nilai NDVI

Analisis Produksi

Hasil analisis perbandingan produksi rata-rata berdasarkan kedalaman pirit menunjukkan bahwa secara

rata-rata dan per umur tanaman areal dengan kedalaman pirit dangkal mempunyai produksi yang paling rendah dibandingkan pirit sedang ataupun pirit dalam. Dengan semakin meningkatnya kelas kedalaman pirit, produktivitas

lahan ikut meningkat walaupun masih berada di bawah rata-rata produktivitas lahan kebun kelapa sawit yang ditanam di tanah mineral non sulfat masam. Secara rata-rata, *yield gap* (kesenjangan produksi) kebun kelapa sawit di lahan pirit sedang dan dangkal dibanding lahan pirit dalam masing-masing sebesar 18.90% dan 39.21%. Sedangkan jika dibandingkan dengan rata-rata produksi kebun kelapa sawit yang di tanah mineral lainnya, lahan pirit dalam memiliki *yield gap* sebesar 16.48%, meningkat menjadi 32.27% pada areal lahan pirit sedang, dan lebih meningkat lagi menjadi 49.23% pada areal pirit dalam. Berdasarkan uji Duncan dengan tingkat kepercayaan 95%, mulai umur 4 tahun produksi kebun kelapa sawit di lahan pirit dalam berbeda nyata dengan yang ditanam di lahan pirit sedang dan dangkal (Tabel 3).

Begitu juga dengan diagram sebar nilai NDVI dengan produksi, menunjukkan adanya trend peningkatan dan hubungan linier positif antara dua variabel tersebut, walaupun dengan nilai R square yang lebih kecil yaitu sebesar 0.7197 untuk tahun 2020 dan 0.5066 untuk tahun 2021 (Gambar 5).

Adanya lapisan pirit dan jarosit sangat membatasi produktivitas tanaman kelapa sawit (Pupathy dan Sundian, 2020). Toksisitas Al dan kelebihan sulfat merupakan kendala utama bagi produksi tandan buah segar (TBS) di kelapa sawit di lahan sulfat masam (Pupathy dan Paramanathan, 2014) terutama pada lahan sulfat masam dangkal. Hal ini tentunya terkait dengan kemasaman tanah

dan masih adanya oksidasi pirit melalui kapiler air tanah akibat adanya proses transpirasi tanaman tinggi yang akan mempengaruhi proses biokimia pada tanah dan tanaman. Hal ini sejalan dengan hasil penelitian Sutandi *et al.* (2011) di daerah Riau yang menyatakan bahwa produksi kelapa sawit menurun dengan semakin dangkalnya pirit, penurunan produksi pada kedalaman pirit < 60 cm dan 60-120 cm berturut-turut adalah 26 dan 15%. Begitu juga dengan hasil penelitian Sutarta *et al.* (2020) di Aceh Tamiang menunjukkan bahwa pertumbuhan tanaman kelapa sawit pada tanah dengan pirit dangkal terlihat kurang jagur dibanding tanaman pada pirit dalam, namun tidak berbeda secara nyata. Sementara produktivitas tanaman kelapa sawit meningkat dengan semakin dalamnya lapisan pirit.

Beberapa hal yang dapat dilakukan dalam upaya optimalisasi produktivitas tanaman kelapa sawit di lokasi penelitian yaitu penerapan konsep pengolahan lahan minimum (*minimum tillage*) untuk meminimalkan tereksposnya lapisan pirit dan menjaga bahan organik tanah, zonasi *water management* disesuaikan dengan tingkat kedalaman pirit untuk menjaga pirit tidak teroksidasi dengan tetap memberikan ruang aerasi untuk perakaran tanaman, perbaikan kesuburan tanah terutama pH, dan perbaikan *fruit set*. Upaya-upaya perbaikan tersebut tentunya harus didukung dengan penerapan *best management practices* dalam kultur teknis dan operasional pendukungnya.

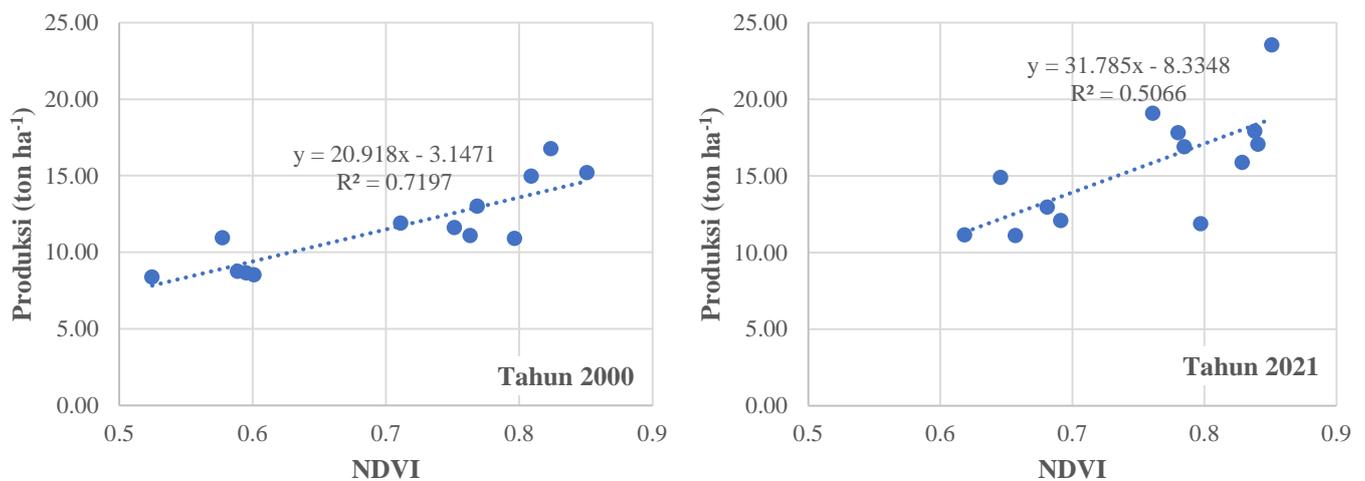
Tabel 3. *Yield gap* berdasarkan kedalaman pirit

Kedalaman Pirit	Produksi Berdasarkan umur Tanaman (ton ha ⁻¹)			Rata-Rata Produksi (ton ha ⁻¹)	Yield Gap Sulfat Masam (%)	Yield Gap vs Mineral non sulfat masam (%)
	3	4	5			
Dangkal	5.08 a	9.05 a	12.44 a	8.85	39.21	49.23
Sedang	7.37 a	11.71 b	16.31 ab	11.81	18.90	32.27
Dalam	8.88 a	15.65 c	19.50 c	14.56		16.48

Keterangan:

Angka pada baris yang sama yang diikuti huruf/abjad yang berbeda menunjukkan adanya perbedaan nyata pada tingkat kepercayaan 95% ($\alpha=0,05$)

Rata-rata produksi (ton ha⁻¹) pada areal mineral non sulfat masam di umur 3, 4, dan 5 secara berturut-turut yaitu 14, 17, dan 21 ton ha⁻¹



Gambar 5. Diagram sebar nilai NDVI dan produksi

SIMPULAN

Lapisan pirit di lokasi penelitian berada pada kedalaman 30 cm sampai lebih dari 120 cm dari permukaan tanah. Hasil klasifikasi kedalaman pirit menunjukkan bahwa lokasi penelitian didominasi oleh lahan dengan kedalaman pirit sedang (60-120 cm) seluas 1,701.33 ha atau 72.40 %. Sebagian areal lainnya memiliki kedalaman pirit dangkal seluas 484.85 ha atau 20.63 %, dan pirit dalam seluas 163.75 ha atau 6.97 % dari total luas.

Kelas kedalaman pirit memiliki kecenderungan hubungan linier positif terhadap kondisi kesehatan tanaman. Kondisi kesehatan tanaman cenderung lebih baik dengan semakin dalamnya kedalaman pirit. Hal tersebut terlihat dari nilai rata-rata NDVI yang semakin tinggi seiring dengan semakin dalamnya tingkat kedalaman pirit.

Produktivitas tanaman pada lahan dengan kedalaman pirit dalam, berbeda nyata dengan pirit sedang ataupun dangkal. Semakin dangkal kedalaman pirit, produksi kelapa sawit semakin menurun. Penurunan produksi pada kedalaman pirit < 60 cm dan 60-120 cm berturut-turut adalah 39 dan 19%. Begitu juga nilai NDVI memiliki hubungan positif dengan produktivitas tanaman kelapa sawit.

Beberapa hal yang dapat dilakukan dalam upaya optimalisasi produktivitas tanaman kelapa sawit di lokasi penelitian yaitu penerapan konsep pengolahan lahan minimum (*minimum tillage*) untuk meminimalkan tereksposnya lapisan pirit dan menjaga bahan organik tanah, zonasi *water management* disesuaikan dengan tingkat kedalaman pirit, perbaikan kesuburan tanah terutama pH, dan perbaikan *fruit set*. Upaya-upaya perbaikan tersebut tentunya harus didukung dengan penerapan *best management practices* dalam kultur teknis dan operasional pendukungnya.

UCAPAN TERIMA KASIH

Terima kasih kepada owner, direksi, dan manajemen PT Sawit Sumbermas Sarana Tbk, serta rekan-rekan tim Sulung Research Station.

DAFTAR PUSTAKA

- Adhi, I.W., N.S. Ratmini dan I.W. Swastika. 1997. *Pengelolaan Tanah dan Air Lahan Pasang Surut*. In Puslibangtrans. Balai Penelitian dan Pengembangan Pertanian.
- Chai, T. and R.R. Draxler. 2014. Root mean square error (RMSE) or mean absolute error (MAE)? -Arguments against avoiding RMSE in the literature. *Geoscientific Model Development*, 7(3): 1247–1250. <https://doi.org/10.5194/gmd-7-1247-2014>
- Dent, D. 1986. *Acid Sulphate Soils: A Baseline for Research and Development*.
- Dewi, A.C. 2019. *Citra Sentinel-2 Untuk Identifikasi Kesehatan Kelapa Sawit Di Kebun Sei Galuh PTPN V Riau*. Universitas Gadjah Mada.
- Hutasuhut, A.H., W. Anggraeni dan R. Tyasnurita. 2014. Pembuatan aplikasi pendukung keputusan untuk peramalan persediaan bahan baku produksi plastik blowing dan inject menggunakan metode ARIMA (*Autoregressive Integrated Moving Average*) di CV. Asia. *Jurnal Teknik Pomits*, 3(2): A-169-A-174.
- Pupathy, U.T. and S. Paramanathan. 2014. Agro-management for oil palms planted on acid sulfate soils. *Selectes Paper on Soil Science - Problem Soil, June*, 1–17.
- Pupathy, U.T. and N. Sundian. 2020. Key agronomic management factors for maximising oil palm (*Elaeis guineensis* Jacq.) yields on acid sulphate soils in Malaysia and Indonesia. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 454(1). <https://doi.org/10.1088/1755-1315/454/1/012171>
- Purnomo, H. 2012. Aplikasi Metode Interpolasi *inverse distance weighting* dalam penaksiran sumberdaya laterit nikel. *Jurnal Angkasa*, 49–60.
- Pusparani, S. 2018. Karakterisasi sifat fisik dan kimia pada tanah sulfat masam di lahan pasang surut. *Jurnal Hexagro*, 2(1): 1–4.
- Santoso, H. dan A. Susanto. 2020. Dampak serangan sekunder pada budidaya tanaman kelapa sawit di lahan sulfat masam dengan tata kelola air yang tidak optimal. *Warta PPKS*, 25(3): 101–108.
- Saputra, R. 2021. *Sistem Informasi Geografis Perkebunan Kelapa Sawit Menggunakan NDVI Pada PTPN V Provinsi Riau* (Vol. 2, Issue 1). Universitas Islam Negeri Sultan Syarif Kasim, Riau.
- Shamshuddin, J., A. Elisa Azura, M.A.R.S. Shazana, C.I. Fauziah, Q.A. Panhwar and U.A. Naher. 2014. Properties and management of acid sulfate soils in Southeast Asia for sustainable cultivation of rice, oil palm, and cocoa. In *Advances in Agronomy* (1st ed., Vol. 124). Elsevier Inc. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-800138-7.00003-6>
- Suastika, I.W., W. Hartatik, dan I.G.M. Subiksa. 2014. *Karakteristik dan Teknologi Pengelolaan Lahan Sulfat Masam Mendukung Pertanian Ramah Lingkungan*. Pengelolaan Lahan Pada Berbagai Ekosistem Mendukung Pertanian Ramah Lingkungan Penelitian dan Pengembangan Pertanian. Kementerian Pertanian. 2014. Gan., 1986: 95–120.
- Subiksa, I.G.M. dan D. Setyorini. 2009. *Pemanfaatan Fosfat Alam untuk Lahan Sulfat Masam*. In Fosfat Alam: Pemanfaatan Pupuk Fosfat Alam sebagai Sumber Pupuk P (pp. 62–83). Balai Penelitian Tanah, Badan Pengembangan dan Penelitian Pertanian.
- Sutandi, A., B. Nugroho dan B. Sejati. 2011. Hubungan kedalaman pirit dengan beberapa sifat kimia tanah dan produksi kelapa sawit (*Elaeis guineensis*). *Jurnal Ilmu Tanah dan Lingkungan*, 13(1): 21. <https://doi.org/10.29244/jitl.13.1.21-24>
- Sutarta, E.S., D. Wiratmoko dan E.N. Akoeb. 2020. kesuburan tanah, pertumbuhan dan produktivitas tanaman kelapa sawit (*Elaeis guineensis*) pada tiga kedalaman mineral pirit. *Jurnal Penelitian Kelapa Sawit*, 28(2): 71–84.
- Taufik, V.V., A. Sukmono dan H.S. Firdaus. 2021. Estimasi

produktivitas kelapa sawit menggunakan metode NDVI (*Normalized Difference Vegetation Index*) dan ARVI (*Atmospherically Resistant Vegetation Index*) dengan Citra Sentinel-2A (Studi Kasus : Beberapa Wilayah di Provinsi Riau). *Jurnal Geodesi Undip*, 10(1): 153–162.
<https://ejournal3.undip.ac.id/index.php/geodesi/article/view/29636>

pasang surut. *Jurnal Pertanian Tropik*, 4(1): 95–105.
<https://doi.org/10.32734/jpt.v4i1.3075>

Yao, X., B. Fu, Y. Lü, F. Sun, S. Wang and M. Liu. 2013. Comparison of four spatial interpolation methods for estimating soil moisture in a complex terrain catchment. *PLoS ONE*, 8(1).
<https://doi.org/10.1371/journal.pone.0054660>

Winarna. 2017. Pertumbuhan tanaman kelapa sawit di lahan
