Strategi Mitigasi Dampak Perubahan Iklim melalui Pemanfaatan Mikroba Penghasil IAA untuk Ketahanan dan Produktivitas Berkelanjutan Kelapa Sawit

Andreas Sukmana, M.S., Dr. Sri Kasmiyati, Dr. Elizabeth Betty Elok Kristiyani
Fakultas Biologi, Universitas Kristen Satya Wacana, Salatiga

Justifikasi Penelitian

Penelitian ini dirancang untuk mengatasi kerentanan industri kelapa sawit Indonesia terhadap tantangan perubahan iklim yang menurunkan produktivitas sawit. Sebagai komoditas perkebunan yang sangat penting bagi perekonomian, kelapa sawit menghadapi **ancaman serius dari pola cuaca yang tidak menentu**, terutama fluktuasi jumlah air yang ekstrem. Curah hujan yang tidak menentu menyebabkan **kekeringan atau penggenangan air yang berlebihan** sehingga secara langsung mengganggu metabolisme tanaman kelapa sawit (Holepa et al., 2024; Listia et al., 2016; Triasmara et al., 2023). Gangguan-gangguan ini berujung pada **penurunan kadar rendemen minyak**, **meningkatkan kerentanan tanaman** terhadap serangan hama dan penyakit, **menghambat proses penyerbukan** yang krusial, serta secara keseluruhan **meningkatkan stres fisiologis tanaman**. Kondisi ini tidak hanya merugikan secara langsung melalui penurunan produksi minyak, tetapi juga meningkatkan biaya operasional perusahaan kelapa sawit.

Dampak perubahan iklim juga **berdampak pada pemupukan**. Peningkatan frekuensi dan intensitas cuaca ekstrem menuntut perusahaan kelapa sawit untuk meningkatkan jumlah pupuk yang diaplikasikan guna menjaga produktivitas. Lebih lanjut, perubahan kondisi lingkungan dapat memaksa perubahan formulasi pupuk yang digunakan, yang **berpotensi signifikan meningkatkan biaya produksi**. Oleh karena itu, **pencarian solusi yang berkelanjutan, efektif, efisien, dan ekonomis untuk meningkatkan ketahanan kelapa sawit terhadap stres lingkungan menjadi sangat mendesak**.

Pemanfaatan komunitas mikroba, khususnya mikroba penghasil IAA, menawarkan solusi inovatif dan ramah lingkungan. **Komunitas mikroba tanah telah terbukti berpotensi meringankan respons fisiologis tanaman terhadap stres lingkungan dan meningkatkan toleransi tanaman** (Firmansyah, 2017; Mogea et al., 2022). Mikroba ini bekerja melalui berbagai mekanisme menguntungkan, termasuk meningkatkan penyerapan nutrisi esensial oleh tanaman, memodulasi hormon stres tanaman agar respons adaptasi lebih efektif, dan mengoptimalkan penyerapan air oleh akar (Azri et al., 2018). **Fokus penelitian ini pada mikroba penghasil IAA menjadi krusial** karena IAA merupakan regulator pertumbuhan tanaman yang esensial, dan memiliki peran penting dalam meningkatkan toleransi tanaman terhadap berbagai bentuk stres lingkungan, termasuk stres akibat *waterlogging*.

Pemanfaatan mikroba tanah penghasil IAA sebagai biostimulan menjanjikan dampak positif yang signifikan bagi perusahaan kelapa sawit. Interaksi yang menguntungkan antara mikroba penghasil IAA dengan tanaman kelapa sawit berpotensi untuk meningkatkan kesehatan tanah dan kesuburan tanah secara keseluruhan (Ganesh et al., 2024; Lobo et al., 2022). Tanah yang sehat dan subur akan menjadi fondasi bagi pertumbuhan tanaman yang optimal dan berkelanjutan, sekaligus mampu meningkatkan efisiensi penggunaan pupuk kimia sintetis. Dengan demikian, **penelitian ini tidak hanya berpotensi untuk meningkatkan rendemen minyak kelapa sawit di tengah tantangan perubahan iklim, tetapi juga menawarkan jalur menuju praktik budidaya kelapa sawit yang lebih berkelanjutan dan ekonomis bagi perusahaan**.

Penelitian ini bertujuan untuk menemukan mikroba penghasil IAA dari tanah yang mampu meningkatkan kualitas pertumbuhan tanaman kelapa sawit dan menjaga kesehatan tanah. Dalam jangka panjang, penelitian ini bertujuan untuk mengembangkan solusi biologi berbasis mikroba penghasil IAA sebagai biostimulan untuk meningkatkan produktivitas dan ketahanan kelapa sawit terhadap stres, sekaligus meningkatkan kesehatan tanah dan mengurangi penggunaan pupuk kimia.

Metode Kerja

Penelitian ini akan dilakukan dalam beberapa tahapan yaitu isolasi dan identifikasi mikroba potensial dari tanah, karakterisasi kemampuan mikroba dalam menghasilkan IAA secara *in vitro* pada media tanah, serta uji mikroba potensial terhadap pertumbuhan dan ketahanan kelapa sawit.

1) Lokasi dan Waktu Penelitian

Penelitian akan dilakukan di Laboratorium Fakultas Biologi dan Laboratorium Lapangan Fakultas Pertanian dan Bisnis UKSW Salatiga. Penelitian akan dilakukan selama 10 bulan dimulai dari bulan April 2025 hingga Januari 2026.

2) Prosedur Penelitian

a) Isolasi dan identifikasi mikroba dari tanah yang terpapar berbagai kondisi lingkungan sehingga diperoleh mikroba potensial dengan ketahanan lingkungan yang tinggi.

1. Isolasi mikroba dilakukan dari sampel tanah dari perkebunan sawit, sawah, ladang, rawa, dan sungai menggunakan media TSA selektif.
2. Mikroba yang diperoleh selanjutnya dimurnikan, disimpan, dan dipelihara untuk pengujian selanjutnya.

b) Pengkajian dan karakterisasi kemampuan mikroba dalam menghasilkan IAA secara in vitro.

1. Isolat mikroba yang diperoleh selanjutnya ditumbuhkan pada media cair TSB dan diuji produksi IAA-nya menggunakan metode spektrofotometri dengan reagen Salkowski.
2. Mikroba yang menujukkan kemampuan menghasilkan IAA dipilih sebanyak 10 jenis dengan potensi terbesar akan digunakan untuk perlakuan selanjutnya.
3. Isolat-isolat tersebut kemudian akan dikarakterisasi untuk mengetahui kelompok mikroba dan potensi metabolismenya.
4. Sepuluh isolat mikroba dengan potensi sebagai penghasil IAA terbaik akan diuji kemampuan produksi IAA di media tanah.
5. Tanah yang diinokulasikan dengan isolat kemudian diukur kadar nitrat, nitrit, fosfat, dan absorbansi spektrum IR-nya untuk mengetahui perubahan profil tanah dan potensi isolat sebagai biostimulan.
6. Tiga isolat dengan kemampuan menghasilkan IAA tertinggi dan berasal dari kelompok berbeda akan digunakan untuk uji selanjutnya.

c) Evaluasi kinerja kerja mikroba tanah penghasil IAA dalam meningkatkan pertumbuhan dan ketahanan tanaman kelapa sawit terhadap stres.

Tanaman kelapa sawit berumur 1 bulan akan digunakan sebagai objek pengamatan. Percobaan akan dilakukan menggunakan rancangan acak kelompok (RAK) faktorial. Faktor pertama adalah jenis isolat mikroba yang direncanakan akan digunakan 3 isolat paling potensial dan 1 kelompok kontrol. Faktor kedua adalah kadar air untuk menyimulasikan kondisi stres lingkungan. Kadar air diatur pada kisaran 10%, 30%, dan 70%. Perlakuan akan diulang sebanyak 3 kali. Parameter pengamatan yang akan diamati adalah dari aspek morfologi tanaman (jumlah daun dan diameter batang), anatomi (penampang organ daun dan akar), fisiologi (jumlah klorofil), dan kesuburan tanah (nitrat, nitrit, fosfat, IAA, dan spektrum IR tanah). Pengamatan dilakukan total sebanyak 4 kali yaitu pada awal inokulasi dan setiap akhir bulan hingga bulan ketiga.

3) Analisis Data

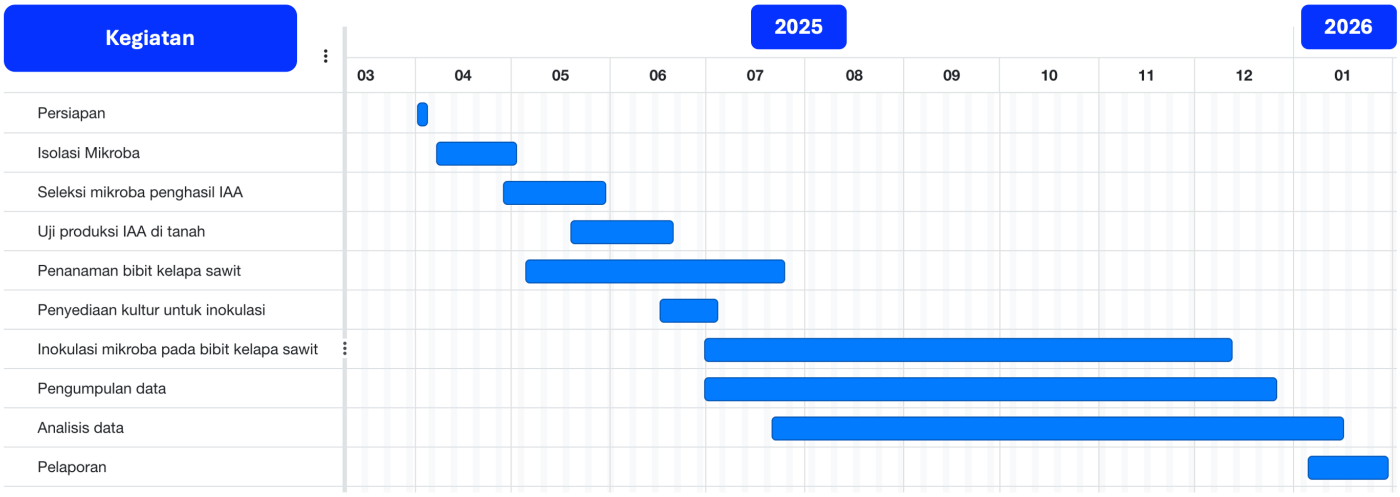
Data yang diperoleh dianalisis secara statistik menggunakan analisis varians (ANOVA) untuk menguji pengaruh perlakuan dan interaksi antar perlakuan. Jika terdapat perbedaan signifikan, dilanjutkan dengan uji Duncan's Multiple Range Test (DMRT) atau uji perbandingan berganda lainnya untuk mengetahui perbedaan antar perlakuan.

Rincian Kebutuhan Biaya

Komponen	Biaya Satuan	Frekuensi	Satuan	Biaya
Bahan				
Media pertumbuhan bakteri	Rp 2.500.000	4	kg	Rp 10.000.000,00
Media pertumbuhan sawit	Rp 100.000	20	karung	Rp 2.000.000,00
Polybag	Rp 500.000	2	pak	Rp 1.000.000,00
Akuades	Rp 20.000	200	liter	Rp 4.000.000,00
Bibit sawit	Rp 3.000.000	1	paket	Rp 3.000.000,00
Microtubes	Rp 1.500.000	1	pak	Rp 1.500.000,00
Disposable petri	Rp 125.000	20	pak	Rp 2.500.000,00
Larutan fixative	Rp 500.000	2	liter	Rp 1.000.000,00
			Sub-Total	**Rp 25.000.000,00**
Pengumpulan data				
Biaya pemeliharaan kultur	Rp 300.000	10	bulan	Rp 3.000.000,00
Penyediaan kultur bakteri	Rp 750.000	10	batch	Rp 7.500.000,00
Biaya pemeliharaan tanaman	Rp 500.000	10	bulan	Rp 5.000.000,00
Biaya asisten peneliti	Rp 2.500.000	4	orang	Rp 10.000.000,00
Biaya teknisi lab	Rp 2.500.000	1	orang	Rp 2.500.000,00
Perjalanan operasional	Rp 500.000	10	kali	Rp 5.000.000,00
Pengukuran IAA	Rp 80.000	100	sampel	Rp 8.000.000,00
Pengukuran rasio C/N	Rp 200.000	100	sampel	Rp 20.000.000,00
Pengukuran Nitrat	Rp 80.000	100	sampel	Rp 8.000.000,00
Pengukuran Nitrit	Rp 100.000	100	sampel	Rp 10.000.000,00
Pengukuran Fosfat	Rp 90.000	100	sampel	Rp 9.000.000,00
Pengukuran spektrum IR tanah	Rp 150.000	100	sampel	Rp 15.000.000,00
Pembuatan preparat anatomi	Rp 800.000	10	paket	Rp 8.000.000,00
Identifikasi mikroba	Rp 500.000	5	paket	Rp 2.500.000,00
			Sub-Total	**Rp 113.500.000,00**
Sewa Alat dan Lahan				
Sewa lab	Rp 200.000	10	bulan	Rp 2.000.000,00
Sewa green house	Rp 500.000	10	bulan	Rp 5.000.000,00
Sewa paket alat lab	Rp 500.000	10	bulan	Rp 5.000.000,00
			Sub-Total	**Rp 12.000.000,00**
Analisis Data dan Pelaporan Hasil				
Biaya pengolah data	Rp 5.000.000	1	paket	Rp 5.000.000,00
Pembuatan video pelaksanaan	Rp 500.000	3	paket	Rp 1.500.000,00
			Sub-Total	**Rp 6.500.000,00**
			TOTAL	**Rp 157.000.000,00**

Ganttchart Pelaksanaan Penelitian dan Target *Output*

Penelitian direncanakan untuk dilakukan dalam kurun waktu 10 bulan dengan agihan waktu sebagai berikut:



Target *output* spesifik yang diharapkan dari penelitian ini:

1. **Teridentifikasinya Isolat Mikroba Tanah Lokal Penghasil IAA:** Target utama adalah berhasil mengisolasi sejumlah mikroba tanah yang terbukti memiliki kemampuan untuk menghasilkan hormon IAA. Isolat-isolat ini akan menjadi kandidat utama untuk studi lebih lanjut.
2. **Terkarakterisasinya Kemampuan Produksi IAA Isolat Mikroba Terpilih Secara *In Vitro*:** Penelitian ini menargetkan untuk mendapatkan data kuantitatif dan kualitatif mengenai kemampuan isolat mikroba terpilih dalam menghasilkan IAA di lingkungan laboratorium.
3. **Terbuktinya Peningkatan Pertumbuhan dan Perkembangan Tanaman Kelapa Sawit Akibat Aplikasi Isolat Mikroba Penghasil IAA Uji *In Vivo*):** Target ini berfokus pada pembuktian efektivitas isolat mikroba terpilih dalam meningkatkan pertumbuhan bibit kelapa sawit saat dihadapkan pada kondisi stres. Luaran terukur dari target ini adalah data peningkatan parameter pertumbuhan vegetatif yang ditinjau dari aspek morfologi dan anatomi dan parameter fisiologis pada tanaman kelapa sawit yang diaplikasikan mikroba dibandingkan dengan kontrol dalam kondisi stres.

Cost and Benefit Analysis

Penelitian tentang pemanfaatan mikroba penghasil IAA ini menawarkan potensi solusi berkelanjutan untuk meningkatkan produktivitas dan ketahanan tanaman kelapa sawit, terutama dalam menghadapi tantangan perubahan iklim dan efisiensi biaya. Berikut ini adalah identifikasi dan analisis *impact* potensi hasil penelitian yang dapat diperoleh perusahaan kelapa sawit jika mengadopsi hasil penelitian ini.

1) Biaya (Costs)

1. **Biaya Penelitian dan Pengembangan (R&D):**
   - **Investasi Awal Penelitian:** Alokasikan dana untuk membiayai penelitian ini, termasuk biaya untuk gaji peneliti, peralatan laboratorium, bahan habis pakai (media pertumbuhan mikroba, reagen kimia, bibit kelapa sawit), biaya operasional rumah kaca, dan analisis data diestimasi sekitar Rp 157.000.000,-.
   - **Pengembangan Produk (Formulasi Biostimulan):** Jika isolat mikroba terpilih terbukti efektif, investasi lebih lanjut perlu difokuskan dalam penelitian lanjutan pada tanaman produksi skala terbatas dan pengembangan formulasi biostimulan sesuai untuk aplikasi lapangan. Biaya ini

mencakup riset formulasi, uji stabilitas produk, uji skala produksi, dan proses regulasi/perizinan produk biostimulan.
    - **Uji Lapangan Skala Luas:** Sebelum implementasi komersial, uji lapangan skala luas di perkebunan kelapa sawit perlu dilakukan untuk memastikan efektivitas biostimulan dalam kondisi lapangan yang sebenarnya. Biaya ini meliputi persiapan lahan, aplikasi biostimulan, pemeliharaan tanaman, pengamatan dan pengukuran parameter pertumbuhan dan hasil panen, serta analisis ekonomi.

2. **Biaya Implementasi dan Operasional:**
    - **Produksi atau Pengadaan Biostimulan:** Perusahaan perlu membangun fasilitas produksi biostimulan atau menjalin kerjasama dengan pihak ketiga untuk pengadaan biostimulan secara massal. Biaya ini mencakup investasi peralatan produksi, bahan baku produksi biostimulan (substrat pertumbuhan mikroba, bahan pembawa), biaya tenaga kerja, dan biaya kontrol kualitas.
    - **Biaya Aplikasi Biostimulan:** Aplikasi biostimulan ke perkebunan kelapa sawit akan menimbulkan biaya operasional tambahan, termasuk biaya tenaga kerja aplikasi, peralatan aplikasi (misalnya sprayer), dan biaya transportasi biostimulan ke lahan perkebunan.
    - **Pelatihan dan Edukasi:** Petani dan pekerja perkebunan perlu dilatih dan diedukasi mengenai cara aplikasi biostimulan yang benar dan efektif. Biaya pelatihan dan edukasi ini perlu dipertimbangkan.

2) Manfaat (Benefits)

1. **Peningkatan Rendemen dan Produksi Minyak Kelapa Sawit:**
    - **Peningkatan Pertumbuhan dan Kesehatan Tanaman:** Mikroba penghasil IAA berpotensi meningkatkan pertumbuhan akar, penyerapan nutrisi, dan kesehatan tanaman kelapa sawit secara keseluruhan, terutama dalam kondisi *waterlogging*. Tanaman yang lebih sehat dan kuat akan lebih produktif dalam menghasilkan buah dan minyak.
    - **Peningkatan Pembentukan Aerenchyma:** Induksi aerenchyma oleh mikroba dapat meningkatkan toleransi tanaman terhadap *waterlogging*, mengurangi dampak negatif kondisi hipoksia pada akar, dan menjaga fungsi fisiologis tanaman tetap optimal, sehingga potensi produksi minyak tetap terjaga atau bahkan meningkat.
    - **Optimalisasi Penyerapan Nutrisi:** Peningkatan penyerapan nutrisi, terutama N dan P, yang difasilitasi oleh mikroba dapat memastikan ketersediaan nutrisi esensial yang cukup untuk pertumbuhan vegetatif dan generatif tanaman kelapa sawit, yang pada akhirnya berkontribusi pada peningkatan rendemen minyak.

2. **Pengurangan Biaya Input Pertanian:**
    - **Pengurangan Penggunaan Pupuk Sintetis:** Mikroba penambat nitrogen dan pelarut fosfat dapat mengurangi ketergantungan pada pupuk nitrogen dan fosfat sintetis. Penggunaan pupuk sintetis yang berlebihan tidak hanya mahal tetapi juga dapat berdampak negatif pada lingkungan. Pengurangan penggunaan pupuk sintetis akan menurunkan biaya produksi dan meningkatkan keberlanjutan budidaya.
    - **Pengurangan Biaya Pengelolaan *Waterlogging*:** Tanaman yang lebih toleran terhadap *waterlogging* akan mengurangi kerugian akibat kondisi tanah tergenang air. Hal ini dapat mengurangi biaya perbaikan lahan yang tergenang, biaya penanaman ulang tanaman yang mati akibat *waterlogging*, dan biaya pengelolaan penyakit akar yang seringkali meningkat pada kondisi *waterlogging*.

3. **Manfaat Lingkungan dan Keberlanjutan:**
    - **Praktik Budidaya yang Lebih Ramah Lingkungan:** Pemanfaatan biostimulan mikroba merupakan alternatif yang lebih ramah lingkungan dibandingkan penggunaan pupuk dan bahan kimia sintetis. Ini sejalan dengan tren global menuju pertanian berkelanjutan dan dapat meningkatkan citra perusahaan sebagai perusahaan yang peduli lingkungan.

- **Peningkatan Kesehatan Tanah:** Mikroba tanah dapat meningkatkan kesehatan tanah secara keseluruhan, termasuk struktur tanah, ketersediaan hara alami, dan aktivitas biologi tanah. Tanah yang sehat akan mendukung produktivitas tanaman jangka panjang dan meningkatkan daya dukung ekosistem perkebunan.
- **Potensi Sertifikasi dan Premium Harga:** Produk kelapa sawit yang dihasilkan melalui praktik budidaya yang berkelanjutan dan ramah lingkungan, dengan memanfaatkan biostimulan mikroba, berpotensi mendapatkan sertifikasi keberlanjutan dan akses ke pasar premium dengan harga yang lebih tinggi.

4. **Peningkatan Ketahanan dan Adaptasi Terhadap Perubahan Iklim:**
   - **Tanaman Lebih Tahan Stres Abiotik:** Mikroba dapat membantu tanaman kelapa sawit menjadi lebih tahan terhadap berbagai stres abiotik, termasuk *waterlogging*, kekeringan, dan salinitas. Peningkatan ketahanan ini sangat penting dalam menghadapi perubahan iklim yang semakin ekstrem dan tidak menentu.
   - **Stabilitas Produksi:** Dengan tanaman yang lebih tahan stres, perusahaan dapat mengurangi fluktuasi produksi akibat faktor lingkungan yang tidak terduga, sehingga meningkatkan stabilitas pasokan minyak kelapa sawit.

Secara keseluruhan, penelitian tentang **pemanfaatan mikroba penghasil IAA untuk kelapa sawit memiliki potensi manfaat jangka panjang yang signifikan bagi perusahaan kelapa sawit**, meskipun terdapat biaya dan risiko yang perlu dikelola. Manfaat potensial berupa peningkatan rendemen minyak, pengurangan biaya input, manfaat lingkungan, dan peningkatan ketahanan tanaman terhadap perubahan iklim diperkirakan dapat melebihi biaya investasi dalam penelitian dan implementasi. Dengan mempertimbangkan analisis biaya dan manfaat ini, penelitian tentang pemanfaatan mikroba penghasil IAA merupakan investasi yang menjanjikan bagi perusahaan kelapa sawit untuk mencapai tujuan peningkatan produktivitas, efisiensi, keberlanjutan, dan ketahanan terhadap perubahan iklim.

Referensi

Azri, M. H., Ismail, S., & Abdullah, R. (2018). An endophytic *Bacillus* strain promotes growth of oil palm seedling by fine root biofilm formation. *Rhizosphere*, *5*, 1–7. https://doi.org/10.1016/j.rhisph.2017.10.003

Firmansyah, E. (2017). PERTUMBUHAN DAN MORFOLOGI AKAR KELAPA SAWIT (Elaeis guinensis Jacq.) PADA SALINITAS GENANGAN BERBEDA. *AGROISTA : Jurnal Agroteknologi*, *1*(2), Article 2. https://doi.org/10.55180/agi.v1i2.19

Ganesh, J., Hewitt, K., Devkota, A. R., Wilson, T., & Kaundal, A. (2024). IAA-producing plant growth promoting rhizobacteria from Ceanothus velutinus enhance cutting propagation efficiency and Arabidopsis biomass. *Frontiers in Plant Science*, *15*. https://doi.org/10.3389/fpls.2024.1374877

Holepa, R., Safriyani, E., & Holidi, H. (2024). DAMPAK EL NINO TERHADAP PRODUKSI KELAPA SAWIT (Elais guinnensis Jacq) DI KABUPATEN MUSI RAWAS. *Agrienvi: Jurnal Ilmu Pertanian*, *18*(1), Article 1. https://doi.org/10.36873/aev.v18i1.15253

Listia, E., Indradewa, D., & Putra, E. T. S. (2016). Pertumbuhan, Produktivitas, dan Rendemen Minyak Kelapa Sawit di Dataran Tinggi. *Ilmu Pertanian (Agricultural Science)*, *18*(2), 77–83. https://doi.org/10.22146/ipas.9087

Lobo, L. L. B., de Andrade da Silva, M. S. R., Castellane, T. C. L., Carvalho, R. F., & Rigobelo, E. C. (2022). Effect of Indole-3-Acetic Acid on Tomato Plant Growth. *Microorganisms*, *10*(11), 2212. https://doi.org/10.3390/microorganisms10112212

Mogea, R. A., Putri, W. I. C. L. H., & Abubakar, H. (2022). Isolasi Bakteri Penghasil Indole Acetic Acid pada Tanaman Hortikultura di Perkebunan Prafi SP 1, Manokwari. *Jurnal Ilmu Pertanian Indonesia*, *27*(1), Article 1. https://doi.org/10.18343/jipi.27.1.1

Triasmara, R. B. A. N., Wirianata, H., & Santosa, T. N. B. (2023). Analisa Produktivitas Kelapa Sawit pada Daerah Cekaman Banjir dan Daerah Kering. *AGROFORETECH*, *1*(3), Article 3.