AGROFORETECH

Volume 4, Nomor 3, September 2026

Aplikasi PGPR (*Plant Growth Promoting Rhizobacteria*) dengan Tambahan Pupuk Daun pada Bibit Kelapa Sawit (*Elaeis guineensis* Jacq.) di *Main Nursery*

Agung Sukmaraga*), Fani Ardiani, Sri Suryanti
Program Studi Agroteknologi, Fakultas Pertanian, INSTIPER Yogyakarta
*)Email Korespondensi: agungsukmaraga4@gmail.com

ABSTRAK

Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh aplikasi *Plant Growth Promoting Rhizobacteria* (PGPR) dan pupuk daun terhadap pertumbuhan bibit kelapa sawit fase main nursery, serta melihat kemungkinan adanya interaksi antara keduanya. Penelitian dialksanakan selama tiga bulan di Kebun Penelitian dan Pendidikan (KP2) Instiper Yogyakarta menggunakan rancangan acak lengkap (RAL) dengan dua faktor, yaitu konsentrasi PGPR (0, 50, 100 dan 150 ml/tanaman) diaplikasikan secara berselang-selang sampai dengan minggu ke 14 setelah pindah tanam dari *pre nursery* ke *main nursery*, dimulai dari minggu ke 2, 4, 6, 8, 10, 12 minggu dan konsentrasi pupuk daun (0, 3, dan 5 g/l) secara berselang-selang sampai dengan minggu ke 13 setelah pindah tanam dari *pre nursery* ke *main nursery*, dimulai dari minggu ke 3, 5, 7, 9, 11, dan 13 minggu. Hasil penelitian menunjukkan bahwa tidak terdapat interaksi nyata antara pemberian PGPR dan pupuk daun terhadap seluruh paramater pertumbuhan tanaman, meliputi tinggi tanaman, jumlah daun, diameter batang. Pemberian PGPR berpengaruh nyata terhadap berat kering akar, berat kering tajuk, dan jumlah stomata, dengan hasil tertinggi pada dosis 100 ml/tanaman. Pupuk daun tidak memberikan pengaruh nyata terhadap seluruh parameter pertumbuhan. Hasil analisis tanah menunjukkan adanya penurunan nilai kapasitas kation (KTK) setelah peneltiian, yang mengindikasikan terjadinya penyerapan unsur hara oleh tanaman selama proses pertumbuhan. Penelitian ini menunjukkan bawa PGPR lebih berperan dalam meningkatkan pertumbuhan bibit kelapa sawit terutama melalui peningkatan sistem perakaran dan efisiensi penyerapan hara.
Kata Kunci : PGPR, pupuk daun, kelapa sawit, *main nursery*, pertumbuhan bibit.

PENDAHULUAN

Kelapa sawit (*Elaeis guineensis* Jacq.) termasuk dalam keluarga *Arecaceae* dan memiliki potensi tertinggi sebagai penghasil minyak nabati dibandingkan tanaman lain seperti kedelai dan bunga matahari. Untuk mencapai pertumbuhan dan produksi yang optimal, kelapa sawit memerlukan kondisi lingkungan yang sesuai, seperti suhu tahunan rata-rata 25 - 32°C, curah hujan tahunan 1700 - 2500 mm, kedalaman tanah efektif lebih dari 100 cm untuk tanah mineral, dan 140 - 200 cm untuk tanah gambut. Lereng ideal berkisar 8-16% dan ketinggian lahan di bawah 400 meter di atas permukaan laut. Kondisi lingkungan terbaik untuk kelapa sawit adalah wilayah tropis basah yang terletak antara 23°LU dan 23°LS (Wigena et al., 2018).

Kelapa sawit memiliki potensi tinggi sebagai penghasil minyak nabati, tetapi tantangan dalam budidaya, terutama pada tahap bibit, masih perlu diperhatikan. Salah satu masalah utama adalah ketergantungan pada pupuk kimia yang dapat menurunkan kualitas tanah dan lingkungan. Selain itu, bibit yang berkualitas rendah sering kali memiliki perakaran yang

lemah, penyerapan nutrisi yang tidak optimal, serta tidak tahan terhadap kondisi stres lingkungan seperti kekurangan air. Bibit kelapa sawit yang ideal harus memiliki sistem perakaran kuat, pertumbuhan vegetatif yang optimal, dan ketahanan terhadap cekaman lingkungan (Muflihani et al., 2024).

Penerapan pupuk yang ramah lingkungan, seperti penggunaan *Plant Growth Promoting Rhizobacteria* (PGPR), mampu memberikan kontribusi sebesar 25 - 50%, sedangkan melalui mekanisme pelarutan fosfat terikat, kontribusinya mencapai 50%. Selain itu, PGPR juga berperan dalam produksi AIA sebanyak 50%. Jenis PGPR yang berperan dalam fiksasi nitrogen mencakup *Azotobacter, Azospirillum, Rhizobium, Bradyrhizobium, Mesorhizobium, Sinorhizobium, Frankia, dan Bacillus.* Sementara itu, PGPR yang berfungsi dalam pelarutan fosfat meliputi Pseudomonas, *Azotobacter, Flavobacterium, Micrococcus,* dan *Staphylococcus*. Untuk produksi AIA, jenis PGPR yang terlibat adalah *Azotobacter, Pseudomonas, Bacillus,* dan *Azospirillum* (Jannah et al., 2022). Penerapan PGPR pada kelapa sawit telah terbukti meningkatkan pertumbuhan akar, penyerapan nutrisi, dan ketahanan terhadap stres lingkungan (Walida et al., 2018). Penambahan pupuk daun juga berfungsi penting dalam mendukung fotosintesis dengan meningkatkan penyerapan nutrisi langsung dari daun (Manurung et al., 2020).

Pupuk daun merupakan pupuk yang diberikan melalui penyemprotan ke permukaan daun sehingga unsur hara dapat langsung diserap melalui stomata dan kutikula tanaman. Aplikasi pupuk daun dianggap lebih efisien dibandingkan dengan pemupukan melalui tanah, terutama pada kondisi tanah yang memiliki keterbatasan ketersediaan unsur hara atau saat akar tanaman mengalami hambatan penyerapan. Selain itu, pupuk daun mampu mempercepat respon pertumbuhan karena unsur hara masuk secara langsung ke jaringan tanaman, sehingga dapat mendukung proses fotosintesis, pembentukan enzim, dan metabolisme tanaman (Haryadi et al., 2015). Pemberian pupuk daun juga efektif untuk mengatasi defisiensi unsur hara mikro yang sering sulit tercukupi melalui pemupukan akar (Winarso, 2021).

Salah satu pupuk daun yang banyak digunakan adalah *Gandasil D*, yang mengandung nitrogen, fosfor, kalium, serta unsur mikro seperti magnesium, kalsium, dan seng dalam bentuk mudah diserap tanaman. Pupuk ini dirancang untuk merangsang pertumbuhan vegetatif dan mempercepat perkembangan daun serta akar, sehingga sangat sesuai digunakan pada fase *main nursery* kelapa sawit (Imran & Mardaleni et al., 2025). Penggunaan *Gandasil D* dapat membantu memperbaiki defisiensi hara mikro yang mungkin tidak tercukupi dari pemupukan akar, serta meningkatkan efisiensi fotosintesis dan metabolisme tanaman (Nurcahyo & Ariani, 2017). Oleh karena itu, kombinasi antara PGPR dan pupuk daun *Gandasil D* diharapkan memberikan efek sinergis yang mendukung pertumbuhan optimal bibit kelapa sawit di *main nursery*.

METODE PENELITIAN

Penelitian ini telah dilakukan selama 3 bulan, “mulai dari bulan mei hingga Juli 2025. Lokasi penelitian akan dilakukan di Kebun Penelitian dan Pendidikan (KP2) Instiper, yang terletak di Desa Wedomartani, Kecamatan Ngemplak, Kabupaten Sleman, Daerah Istimewa Yogyakarta. Alat yang digunakan meliputi alat ukur seperti meteran, polybag ukuran 20 x 20 cm, sprayer, skala digital, kamera, timbangan digital, oven, thermometer dan hygrometer. Bahan yang diperlukan terdiri dari bibit kelapa sawit Varietas D x P Simalungun, pupuk daun (*Gandasil D*), PGPR, tanah *Top Soil*, air.

Rancangan penelitian ini menggunakan metode faktorial yang terdiri dari dua faktor, disusun dalam Rancangan Acak Lengkap (RAL). Faktor pertama adalah konsentrasi PGPR

terdiri dari 4 aras : Kontrol, 50 ml/tanaman, 100 ml/tanaman, 150 ml/tanaman. Faktor kedua adalah konsentrasi pupuk daun terdiri dari 3 aras : Kontrol, 3 g/l, 5 g/l. Dari kedua faktor, diperoleh 4 x 3 = 12 kombinasi perlakuan, dan setiap perlakuan diulang sebanyak 5 kali. Jumlah bibit yang diperlukan untuk percobaan adalah 4 x 3 x 5 = 60 bibit.

Penelitian diawali dengan persiapan lahan dan media tanam menggunakan tanah *top soil* Regosol yang diayak dan dimasukkan ke polybag. Bibit kelapa sawit *pre nursery* umur 3 bulan diseleksi dan dipindahkan ke *main nursery*. PGPR diberikan pada konsentrasi 0, 50, 100, dan 150 ml/L sebanyak 50 ml/tanaman, sedangkan pupuk daun *Gandasil D* diberikan pada konsentrasi 0, 3, 5, dan 7 g/L. Aplikasi dilakukan secara berkala sesuai jadwal perlakuan dan tanaman dipelihara melalui penyiraman, penyiangan, serta pengendalian hama. Pengamatan meliputi tinggi bibit, jumlah daun, diameter batang, berat kering akar dan tajuk, panjang akar, jumlah stomata, serta analisis tanah terutama KTK.

Data yang telah dihasilkan selanjutnya dianalisis dengan sidik ragam anova pada jenjang 5% dan jika terdapat perbedaan yang nyata makan dilanjut dengan uji DMRT 5%".

HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil analisis sidik ragam menunjukkan bahwa pengaruh pemberian PGPR dan pupuk daun tidak memberikan interaksi nyata pada parameter pertumbuhan tinggi tanaman, jumlah daun dan diameter batang serta berat kering akar, berat kering tajuk, volume akar serta jumlah stomata. Hal ini menunjukkan bahwa kedua perlakuan tidak menunjukkan adanya sinergi dalam mempengaruhi pertumbuhan tanaman. Masing-masing perlakuan, baik pemberian PGPR maupun pupuk daun, cenderung memberikan pengaruh secara independen sesuai dengan mekanisme kerjanya masing-masing. PGPR berperan melalui aktivitas mikroorganisme di daerah perakaran, sedangkan pupuk daun bekerja melalui penyerapan langsung oleh jaringan daun, sehingga respon tanaman yang dihasilkan tidak saling memperkuat secara signifikan.

Tabel 1. Berikut dari pengaruh penggunaan pgpr yang digunakan terhadap parameter yang diteliti pada kelapa sawit *main nursery*.

Parameter penelitian	PGPR ml/tanaman			
	Kontrol	50	100	150
Pertambahan tinggi tanaman (cm)	36,47 a	35,37 a	35,11 a	35,20 a
Pertambahan jumlah daun	9,13 a	9,27 a	8,40 a	8,47 a
Pertambahan diameter batang (mm)	14,86 a	14,17 a	14,06 a	13,79 a
Berat kering akar (g)	3,35 bc	4,20 ab	5,52 a	1,84 c
Berat kering tajuk (g)	7,52 b	9,68 ab	10,09 a	5,19 c
Volume akar (cm^2)	8,80 a	8,67 a	9,73 a	6,67 a
Stomata	92,4 a	91,6 a	84,3 b	90,2 a

Keterangan : Dari rerata yang diikuti huruf yang sama dalam kolom tidak menujukkan perbedaan yang nyata.

Pemberian PGPR menunjukkan pengaruh "nyata terhadap berat kering akar, berat kering tajuk, dengan hasil terbaik pada dosis 100 ml/tanaman, sedangkan pada dosis 100 ml jumlah stomata lebih sedikit dibandingkan tanpa PGPR, 50 ml dan 100 ml. Hal ini menunjukkan bahwa PGPR mampu meningkatkan pertumbuhan biomassa tanaman melalui peningkatan aktivitas sistem perakaran. PGPR diketahui mampu menghasilkan hormon pertumbuhan seperti auksin (IAA), giberelin, dan sitokinin yang berperan dalam merangsang pembelahan dan pemanjangan sel serta meningkatkan penyerapan unsur hara oleh tanaman (Lubis et al., 2025). Sistem perakaran yang berkembang dengan baik meningkatkan

kemampuan tanaman dalam menyerap air dan nutrisi, sehingga mendukung peningkatan berat kering tajuk sebagai hasil akumulasi fotosintat. Kondisi tersebut juga diduga memengaruhi regulasi fisiologis tanaman, termasuk pengaturan stomata, sehingga jumlah stomata pada perlakuan PGPR 100 ml/tanaman lebih rendah dibandingkan perlakuan lainnya.

Namun demikian, pada dosis yang lebih tinggi (150 ml/tanaman) terjadi kecenderungan penurunan pertumbuhan. Hal ini diduga disebabkan oleh ketidakseimbangan populasi mikroorganisme di dalam tanah atau terjadinya kompetisi antar mikroba, sehingga efektivitas PGPR dalam mendukung pertumbuhan tanaman menjadi menurun. Kondisi ini menunjukkan bahwa pemberian PGPR perlu memperhatikan dosis optimum agar memberikan hasil yang maksimal.

Tabel 2. Berikut dari pengaruh penggunaan pupuk daun yang digunakan terhadap parameter yang diteliti pada kelapa sawit *main nursery*.

Parameter penelitian	Pupuk daun g/liter		
	Kontrol	3	5
Pertambahan tinggi tanaman (cm)	35,14 p	34,93 p	36,54 p
Pertambahan jumlah daun	9,05 p	8,45 p	9,25 p
Pertambahan diameter batang (mm)	14,40 p	13,47 p	14,79 p
Berat kering akar (g)	4,09 p	3,10 p	4,00 p
Berat kering tajuk (g)	8,47 p	6,91 p	8,97 p
Volume akar (cm^2)	8,60 p	7,60 p	9,20 p
Stomata	88,5 p	90,6 p	89,9 p

Keterangan : Dari rerata yang diikuti huruf yang sama dalam kolom tidak menujukkan perbedaan yang nyata.

Tabel 2 pemberian pupuk daun tidak memberikan pengaruh nyata terhadap seluruh parameter yang diamati. Hal ini diduga karena kebutuhan unsur hara tanaman telah tercukupi melalui media tanam, sehingga tambahan hara melalui daun tidak memberikan respon yang signifikan. Selain itu, efektivitas penyerapan pupuk daun sangat ditentukan oleh faktor fisiologis lebar bukaan stomata (*stomata aperture size*) dan konduktansi stomata. Penyerapan hara foliar berlangsung secara difusi melalui celah/pori stomata. Apabila kondisi lingkungan saat aplikasi (seperti suhu atau kelembapan) kurang mendukung sehingga bukaan stomata terbatas atau cenderung menutup, maka difusi dan penetrasi larutan hara ke dalam jaringan mesofil daun akan terhambat sehingga respon tanaman tidak terlihat secara signifikan (Handoyo *et al*., 2025). Kondisi lingkungan dan tingkat pembukaan stomata sangat menentukan keberhasilan penyerapan unsur hara (Farrasati et al., 2021)**.**

Jika dikaitkan dengan hasil analisis tanah, nilai kapasitas tukar kation (KTK) sebelum penanaman berada pada kisaran 4,74593 sampai 7,735 cmol(+)/kg^{-1} yang tergolong sedang, menunjukkan bahwa tanah memiliki kemampuan cukup baik dalam menyerap dan menyediakan unsur hara bagi tanaman. Setelah penelitian, nilai KTK cenderung mengalami penurunan menjadi 3,3549 sampai 6,1514 cmol(+)/kg. Penurunan ini mengindikasikan bahwa terjadi proses penyerapan kation oleh tanaman selama pertumbuhan, seperti K, Ca^2, Mg^2 dan NH_4^+ yang digunakan dalam pembentukan jaringan tanaman (Peniwiratri et al., 2023)**.**

Penurunan nilai KTK tersebut berkaitan erat dengan peningkatan berat kering akar dan tajuk, terutama pada perlakuan PGPR. Hal ini menunjukkan bahwa peningkatan biomassa tanaman merupakan hasil dari peningkatan serapan unsur hara dari tanah. Aktivitas PGPR dalam melarutkan fosfat dan meningkatkan ketersediaan nitrogen turut mempercepat proses penyerapan hara oleh akar, sehingga cadangan kation dalam tanah berkurang (Lubis et al., 2025). Dengan demikian, semakin tinggi aktivitas penyerapan hara oleh tanaman, maka nilai KTK tanah cenderung menurun.

Keterkaitan juga terlihat pada parameter volume akar dan jumlah stomata. Meskipun secara statistik tidak menunjukkan perbedaan nyata, penurunan KTK mengindikasikan bahwa sistem perakaran tetap aktif dalam menyerap unsur hara. Hal ini menunjukkan bahwa proses fisiologis tanaman tetap berlangsung dengan baik, meskipun belum cukup kuat untuk menghasilkan perbedaan yang signifikan antar perlakuan.

Pada parameter tinggi tanaman, jumlah daun, dan diameter batang yang tidak menunjukkan perbedaan nyata, kondisi KTK yang masih berada pada kategori sedang diduga menjadi salah satu faktor pembatas. Artinya, meskipun unsur hara tersedia, kapasitas tanah dalam menyediakan hara secara berkelanjutan belum cukup optimal untuk mendorong pertumbuhan vegetatif secara signifikan. Hal ini sejalan dengan pendapat Handayanto et al. (2017) yang menyatakan bahwa pertumbuhan tanaman sangat dipengaruhi oleh kemampuan tanah dalam menyediakan dan mempertahankan unsur hara.

Selain itu, tidak adanya respon nyata terhadap pupuk daun juga dapat dikaitkan dengan kondisi KTK tanah yang masih mampu menyediakan hara melalui akar. Dalam kondisi tersebut, tanaman cenderung lebih memanfaatkan unsur hara dari tanah dibandingkan dari aplikasi melalui daun, sehingga pengaruh pupuk daun menjadi kurang terlihat.

Hasil analisis tanah menunjukkan bahwa setelah penanaman terjadi penurunan KTK, N, P, dan K, sedangkan pH meningkat. Penurunan N, P, dan K diduga terjadi karena hara tersebut lebih banyak diserap bibit seiring dengan pertumbuhan tanaman. Aplikasi PGPR dapat membantu perkembangan akar sehingga penyerapan hara oleh tanaman menjadi lebih aktif (Kristalisasi et al., 2023; Nugroho et al., 2022). Selain itu, pupuk daun turut menyediakan hara yang mendukung pertumbuhan vegetatif bibit kelapa sawit (Azzamuddin & Wiraguna, 2025). Kondisi tersebut diduga menyebabkan kandungan N, P, dan K dalam tanah setelah penelitian menjadi lebih rendah dibandingkan sebelum penanaman”

KESIMPULAN

Berdasarkan hasil dari penelitian ini maka dapat disimpulkan bahwa :

1. Pemberian PGPR dan pupuk daun tidak menunjukkan adanya interaksi nyata terhadap seluruh parameter pertumbuhan bibit kelapa sawit di fase *main nursery*.
2. Pemberian PGPR secara mandiri memberikan pengaruh nyata terhadap berat kering akar, berat kering tajuk, dan jumlah stomata, dengan dosis terbaik pada 100 ml/tanaman.
3. Pupuk daun memberikan pengaruh yang sama terhadap parameter bibit kelapa sawit di *main nursery*.

DAFTAR PUSTAKA

Farrasati, R., Pradiko, I., Rahutomo, S., & Ginting, E. N. (2021). Review: Pemupukan melalui tanah serta daun dan kemungkinan mekanismenya pada tanaman kelapa sawit. *Warta Pusat Penelitian Kelapa Sawit (Warta PPKS), 26*(1), 7–19. DOI:10.22302/iopri.war.warta.v26i1.41

Handayanto, E., Muddarisna, N., & Fiqri, A. (2017). *Pengelolaan Kesuburan Tanah*. Universitas Brawijaya Press.

Haryadi, D., Yetti, H., & Yoseva, S. (2015). Pengaruh Pemberian Beberapa Jenis Pupuk Terhadap Pertumbuhan Dan Produksi Tanaman Kailan (Brassica Alboglabra L.). *Jom Faperta*, *2*(2), 1–10.

Imran, M., & Mardaleni. (2025). Penggunaan POC paitan (*Thitonia diversifolia* L.) dan pupuk Gandasil D pada budidaya sawi hijau (*Brassica juncea* L.) secara hidroponik. *Jurnal Dinamika Pertanian, 41*(3), 337–348.https://doi.org/10.25299/dp.2025.vol41(3).27370

Jannah, M., Jannah, R., & Fahrunsyah. (2022). Kajian literatur: Penggunaan *Plant Growth*

Promoting Rhizobacteria (PGPR) untuk meningkatkan pertumbuhan dan mengurangi pemakaian pupuk anorganik pada tanaman pertanian. *Jurnal Agroekoteknologi Tropika Lembab, 5*(1), 41–49. https://doi.org/10.35941/jatl.5.1.2022.7940.41-49

Kristalisasi, E. N., Rusmarini, U. K., & Perwana, R. G. (2023). Pengaruh Dosis Pgpr Dan Lcpks Terhadap Pertumbuhan Bibit Kelapa Sawit Di Pembibitan Awal. *Jurnal Pertanian Agros*, *24*(2). Https://Doi.Org/10.37159/Jpa.V24i2.1949

Lubis, E. I. J., Himawan, A., & Noviyanto, A. (2025). Pengaruh PGPR yang Berasal dari Rhizosfer Jenis Bambu yang Berbeda terhadap Pertumbuhan Bibit Kelapa Sawit Main Nursery pada Tanah Gambut dan Mineral. *Agroforetech*, *3*(4), 2039–2047.https://jurnal.instiperjogja.ac.id/index.php/JOM/article/view/2315

Manurung, F. S., Nurchayati, Y., & Setiari, N. (2020). Pengaruh Pupuk Daun Gandasil D Terhadap Pertumbuhan, Kandungan Klorofil Dan Karotenoid Tanaman Bayam Merah (Alternanthera Amoena Voss.). In *Jurnal Biologi Tropika, Mei* (Vol. 3, Issue 1). Http://Ejournal2.Undip.Ac.Id/Index.Php/Jbt

Muflihani, A. R., Mulyasari, G., Yuliarso, M. Z., & Sulistyowati, E. (2024). Analisis Sistem Agribisnis Pada Tanaman Kelapa Sawit Rakyat: Analysis Of Agribusiness Systems In Smallholder Palm Oil Plantations. *Jurnal: Agricultural Review*, *3*(2), 82–95.DOI:10.37195/arview.v3i2.1084

Nugroho, M. H., Suryanti, S., & Umami, A. (2022). Respon Pertumbuhan Bibit Kelapa Sawit Main Nursery Pada Kondisi Cekaman Kekeringan Dengan Pemberian Plant Growth Promoting Rhizobacteria Dan Mikoriza Vesikula Arbuskula. *Vegetalika*, *11*(2). Https://Doi.Org/10.22146/Veg.64783

Nurcahyo, N. E., & Ariani, E. (2017). Pengaruh Pupuk Gandasil-D Dan Berbagai Limbah Perkebunan Kelapa Sawit Terhadap Pertumbuhan Bibit Kelapa Sawit (Elaeis Guineensis Jacq.) Di Pembibitan Utama. . *Jom Faperta*, *4*(1), 1–13.

Peniwiratri, L., Saidi, D., & Nurrokhmah, S. (2023). Respon Nitrogen Phosphor Kalium Tersedia Latosol Dan Pertumbuhan Kedelai Dengan Pemberian Zeolit Dan Pupuk Npk. *Jurnal Pertanian Agros*, *25*(1), 564–573. DOI: http://dx.doi.org/10.37159/jpa.v25i1.2433

Walida, H., Azis, B., Triyanto, Y., & Suhendra, D. (2018). Isolasi bakteri *Plant Growth Promoting Rhizobacteria* (PGPR) lokal dari endofit akar tanaman kelapa sawit dan uji antagonis terhadap penyakit jamur akar putih. *Jurnal Agroplasma (STIPER) Labuhanbatu, 5*(2), 1–8.

Wigena, I. G. P., Sudrajat, & Siregar, H. (2018). *Pembangunan Perkebunan Kelapa Sawit Berkelanjutan Dengan Pendekatan Model Dinamis* (R. Pambudy (Ed.); 1st Ed., Vol. 1). Ide Media Pustaka Utama.

Winarso, S. (2021). *Kesuburan Tanah: Dasar Kesehatan Dan Kualitas Tanah*. Gadjah Mada University Press.