

# Inovasi Pertanian Berkelanjutan: Analisis Peran Biofertilizer dalam Meningkatkan Kesuburan Tanah dan Hasil Panen Hortikultura di Kabupaten Lombok Tengah

Suwarji<sup>1\*</sup>, Raodatul Putri<sup>2</sup>

<sup>1,2</sup> Universitas Mataram, Indonesia

Corresponding Author's e-mail : suwarji@unram.ac.id\*

**ARMADA**  
JURNAL PENELITIAN MULTIDISIPLIN

e-ISSN: 2964-2981

ARMADA : Jurnal Penelitian Multidisiplin

<https://ejournal.45mataram.ac.id/index.php/armada>

Vol. 02, No. 06, June, 2024

Page: 375-380

DOI:

<https://doi.org/10.55681/armada.v2i6.1664>

## Article History:

Received: May, 15 2024

Revised: June, 15 2024

Accepted: June, 25 2024

**Abstract :** Sustainable agriculture demands innovation in soil and crop management, particularly in reducing dependence on chemical fertilizers, which negatively impact ecosystems. This study aims to analyze the role of biofertilizers in improving soil fertility and horticultural yields in Central Lombok Regency. The research method used a quantitative approach with field experiments on key horticultural commodities such as chilies and tomatoes. Data were obtained by measuring soil pH, nutrient content (N, P, K), and crop yields. The results showed that biofertilizer application significantly increased nitrogen and phosphorus content in the soil, improved soil structure, and increased crop yields by up to 25% compared to the use of single chemical fertilizers. The study's conclusions confirm that biofertilizers have significant potential to support sustainable agriculture by improving soil quality, reducing environmental pollution, and increasing horticultural productivity in Central Lombok. These findings are expected to inform policy recommendations and environmentally friendly agricultural practices in the region.

**Keywords :** Biofertilizer, sustainable agriculture, horticulture, soil fertility

**Abstrak :** Pertanian berkelanjutan menuntut adanya inovasi dalam pengelolaan tanah dan tanaman, khususnya dalam mengurangi ketergantungan terhadap pupuk kimia yang berdampak negatif terhadap ekosistem. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis peran biofertilizer dalam meningkatkan kesuburan tanah serta hasil panen hortikultura di Kabupaten Lombok Tengah. Metode penelitian menggunakan pendekatan kuantitatif dengan eksperimen lapangan pada komoditas hortikultura utama seperti cabai dan tomat. Data diperoleh melalui pengukuran pH tanah, kandungan unsur hara (N, P, K), serta hasil produksi tanaman. Hasil penelitian menunjukkan bahwa aplikasi biofertilizer secara signifikan meningkatkan kandungan nitrogen dan fosfor dalam tanah, memperbaiki struktur tanah, serta meningkatkan hasil panen hingga 25% dibandingkan dengan penggunaan pupuk kimia tunggal. Kesimpulan penelitian ini menegaskan bahwa biofertilizer berpotensi besar mendukung pertanian berkelanjutan dengan memperbaiki kualitas tanah, mengurangi pencemaran lingkungan, serta meningkatkan produktivitas hortikultura di Lombok Tengah. Temuan ini diharapkan dapat menjadi dasar rekomendasi kebijakan dan praktik pertanian ramah lingkungan di daerah tersebut.

**Kata Kunci :** Biofertilizer, pertanian berkelanjutan, hortikultura, kesuburan tanah.

## PENDAHULUAN

Pertanian merupakan salah satu sektor yang memiliki peran strategis dalam pembangunan ekonomi dan ketahanan pangan di Indonesia. Kontribusi sektor ini tidak hanya mencakup penyediaan bahan pangan, tetapi juga menyangkut aspek sosial, budaya, dan keberlanjutan ekologi. Dalam beberapa dekade terakhir, intensifikasi pertanian melalui penggunaan pupuk kimia dan pestisida sintesis menjadi strategi utama untuk meningkatkan produktivitas. Namun, pola tersebut membawa konsekuensi serius terhadap kualitas tanah dan lingkungan. Lahan pertanian di berbagai daerah menunjukkan gejala degradasi akibat penggunaan input kimia berlebihan, seperti penurunan kandungan bahan organik, peningkatan keasaman, dan hilangnya biodiversitas mikroba tanah (Sharma & Singh, 2020). Kondisi ini menimbulkan kebutuhan mendesak untuk menghadirkan inovasi ramah lingkungan yang mampu mendukung keberlanjutan pertanian.

Dalam konteks hortikultura, tantangan tersebut semakin kompleks karena komoditas seperti cabai, tomat, dan sayuran daun memiliki kebutuhan hara tinggi. Ketergantungan terhadap pupuk kimia pada komoditas hortikultura kerap membuat petani terjebak pada biaya produksi yang besar sekaligus risiko kerusakan tanah. Kesuburan tanah yang menurun berdampak langsung pada kualitas dan kuantitas hasil panen, sehingga mengancam kesejahteraan petani dalam jangka panjang (Patra & Singh, 2021). Oleh karena itu, inovasi pertanian berkelanjutan melalui pemanfaatan biofertilizer menjadi solusi potensial untuk menjawab masalah produktivitas sekaligus keberlanjutan ekosistem.

Biofertilizer atau pupuk hayati didefinisikan sebagai inokulan yang mengandung mikroorganisme hidup dengan kemampuan meningkatkan ketersediaan unsur hara esensial bagi tanaman. Mikroorganisme yang umum digunakan dalam biofertilizer meliputi bakteri pelarut fosfat, rhizobium, azotobacter, dan mikoriza. Peran mereka mencakup fiksasi nitrogen, pelarutan fosfat yang terikat dalam tanah, serta peningkatan serapan kalium (Soumare et al., 2020). Dengan mekanisme tersebut, biofertilizer tidak hanya mengurangi kebutuhan pupuk kimia, tetapi juga memperbaiki struktur tanah serta meningkatkan aktivitas mikroba menguntungkan.

Penggunaan biofertilizer sejalan dengan prinsip pertanian berkelanjutan yang menekankan keseimbangan antara produktivitas, kelestarian lingkungan, dan kesejahteraan petani. Pendekatan ini memiliki relevansi tinggi di daerah seperti Kabupaten Lombok Tengah, yang dikenal sebagai salah satu sentra produksi hortikultura di Nusa Tenggara Barat. Lahan hortikultura di daerah ini menjadi penopang ekonomi rumah tangga petani sekaligus pemasok komoditas penting bagi pasar lokal dan regional. Namun, intensifikasi berbasis pupuk kimia selama bertahun-tahun telah menurunkan kesuburan tanah dan meningkatkan kerentanan tanaman terhadap penyakit. Fenomena tersebut menuntut adanya transformasi menuju praktik pertanian yang lebih ramah lingkungan dan berkelanjutan.

Kajian mengenai biofertilizer memperlihatkan kontribusi penting terhadap peningkatan kesuburan tanah. Misalnya, aplikasi *Azotobacter* diketahui mampu meningkatkan ketersediaan nitrogen pada tanah marginal sehingga mendukung pertumbuhan tanaman hortikultura yang sebelumnya terhambat (Bhattacharyya & Jha, 2012). Demikian pula, penggunaan mikoriza terbukti memperluas jangkauan serapan akar terhadap fosfor dan air, yang berimplikasi pada peningkatan ketahanan tanaman terhadap stres abiotik seperti kekeringan (Smith & Read, 2010). Bukti-bukti tersebut menunjukkan bahwa biofertilizer tidak hanya berfungsi sebagai pengganti pupuk kimia, tetapi juga sebagai agen bioteknologi untuk meningkatkan resiliensi agroekosistem.

Secara sosial-ekonomi, inovasi biofertilizer juga memberikan peluang bagi petani untuk menekan biaya produksi. Harga pupuk kimia yang fluktuatif dan cenderung meningkat dari tahun ke tahun menimbulkan beban bagi petani kecil. Dengan memanfaatkan biofertilizer, ketergantungan terhadap input kimia dapat dikurangi sehingga margin keuntungan lebih stabil. Beberapa studi juga menegaskan bahwa penerapan biofertilizer meningkatkan kualitas hasil hortikultura, baik dari segi ukuran, warna, maupun kandungan nutrisi, yang memiliki nilai tambah di pasar (El-Yazeid & Abou-Aly, 2011). Hal ini penting dalam konteks daya saing produk hortikultura Indonesia di pasar domestik maupun ekspor.

Kabupaten Lombok Tengah memiliki kondisi agroekologi yang mendukung pengembangan hortikultura, dengan iklim tropis basah dan ketersediaan lahan yang relatif luas. Namun, keberhasilan produksi sangat bergantung pada kesehatan tanah. Penurunan kualitas tanah akibat penggunaan pupuk kimia jangka panjang menjadi ancaman serius terhadap keberlanjutan produksi. Dalam situasi ini, pengenalan biofertilizer menjadi langkah strategis yang tidak hanya berorientasi pada peningkatan produktivitas, tetapi juga pemulihan kualitas lingkungan.

Lebih jauh, inovasi biofertilizer memiliki kaitan erat dengan agenda global untuk mengurangi emisi karbon dan meningkatkan ketahanan pangan. Proses produksi pupuk kimia seperti urea dan superfosfat berkontribusi besar terhadap emisi gas rumah kaca. Di sisi lain, aplikasi pupuk nitrogen berlebih juga memicu emisi nitrous oxide ( $N_2O$ ) yang memiliki potensi pemanasan global lebih tinggi daripada karbon dioksida (Reay et al., 2012). Penggunaan biofertilizer berpotensi mengurangi ketergantungan pada pupuk kimia, sehingga sejalan dengan upaya mitigasi perubahan iklim.

Selain aspek lingkungan, adopsi biofertilizer juga menuntut perhatian terhadap aspek pengetahuan dan keterampilan petani. Pemahaman tentang cara aplikasi, dosis, serta kombinasi biofertilizer dengan input lain sangat menentukan keberhasilan implementasi di lapangan. Pengetahuan ini masih terbatas di banyak daerah, termasuk Lombok Tengah, sehingga diperlukan strategi penyuluhan dan pelatihan yang efektif. Pendekatan partisipatif yang melibatkan petani sejak tahap awal pengenalan teknologi terbukti meningkatkan adopsi inovasi berkelanjutan (Rana et al., 2015). Oleh karena itu, inovasi biofertilizer tidak bisa dilepaskan dari kebijakan pendidikan pertanian dan transfer teknologi yang mendukung.

Secara akademik, kajian tentang peran biofertilizer dalam hortikultura menjadi semakin penting karena mencakup dimensi multidisipliner. Topik ini melibatkan ilmu tanah, mikrobiologi, agronomi, ekonomi pertanian, dan bahkan kebijakan publik. Dengan menempatkan biofertilizer sebagai inovasi kunci, penelitian ini berupaya memberikan analisis komprehensif mengenai pengaruhnya terhadap kesuburan tanah dan hasil panen hortikultura di Kabupaten Lombok Tengah. Fokus ini dipilih karena relevansinya dengan kondisi lokal, sekaligus kontribusinya terhadap diskursus pertanian berkelanjutan di level nasional dan global.

Berdasarkan uraian tersebut, tujuan utama kajian ini adalah menganalisis peran biofertilizer dalam meningkatkan kesuburan tanah dan hasil panen hortikultura di Kabupaten Lombok Tengah. Analisis ini diharapkan mampu memberikan pemahaman lebih mendalam mengenai potensi biofertilizer sebagai solusi ramah lingkungan, sekaligus menjadi dasar bagi pengembangan kebijakan pertanian berkelanjutan yang dapat diimplementasikan secara luas. Dengan demikian, hasil penelitian ini berpotensi memberikan manfaat praktis bagi petani, akademisi, dan pembuat kebijakan dalam mengembangkan model pertanian yang produktif, berkelanjutan, dan adaptif terhadap tantangan lingkungan.

## METODE PENELITIAN

Penelitian ini menggunakan pendekatan kuantitatif dengan rancangan eksperimen lapangan untuk menganalisis pengaruh biofertilizer terhadap kesuburan tanah dan hasil panen

hortikultura. Lokasi penelitian ditetapkan di Kabupaten Lombok Tengah, Nusa Tenggara Barat, yang dikenal sebagai salah satu sentra produksi hortikultura, khususnya cabai merah dan tomat. Komoditas tersebut dipilih karena memiliki nilai ekonomi tinggi sekaligus mewakili tanaman hortikultura yang banyak dibudidayakan oleh petani lokal.

Rancangan percobaan yang digunakan adalah Rancangan Acak Kelompok (RAK) dengan tiga perlakuan, yaitu: (1) penggunaan pupuk kimia anjuran petani, (2) penggunaan biofertilizer tunggal, dan (3) kombinasi pupuk kimia dan biofertilizer. Setiap perlakuan diulang sebanyak tiga kali untuk memperoleh data yang lebih reliabel. Biofertilizer yang diaplikasikan terdiri dari konsorsium mikroba, termasuk bakteri pelarut fosfat dan mikoriza, dengan dosis 20 ml per tanaman yang diaplikasikan pada fase awal pertumbuhan.

Data yang dikumpulkan meliputi parameter kesuburan tanah (pH, kadar N, P, K, dan bahan organik), serta data hasil panen (jumlah buah per tanaman, bobot total panen per petak, dan produktivitas per hektar). Analisis laboratorium tanah dilakukan sebelum dan sesudah perlakuan untuk mengukur perubahan kualitas tanah. Data dianalisis menggunakan analisis varians (ANOVA) untuk mengetahui pengaruh perlakuan, kemudian dilanjutkan dengan uji lanjut Duncan pada taraf kepercayaan 95% guna melihat perbedaan signifikan antarperlakuan. Hasil penelitian disajikan dalam bentuk tabel dan grafik untuk mempermudah interpretasi.

## HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil penelitian mengenai peran biofertilizer dalam meningkatkan kesuburan tanah dan hasil panen hortikultura di Kabupaten Lombok Tengah menunjukkan adanya perubahan signifikan pada kualitas tanah maupun produktivitas tanaman. Penerapan biofertilizer tidak hanya memberikan dampak positif terhadap parameter kesuburan tanah seperti pH, kandungan nitrogen (N), fosfor (P), kalium (K), serta bahan organik, tetapi juga berimplikasi pada peningkatan hasil panen hortikultura yang diteliti, khususnya cabai merah dan tomat. Secara umum, penggunaan biofertilizer, baik secara tunggal maupun kombinasi dengan pupuk kimia, menghasilkan kondisi tanah yang lebih sehat dengan daya dukung yang lebih baik bagi pertumbuhan tanaman. Tanah yang diberi biofertilizer menunjukkan peningkatan pH yang lebih stabil dibandingkan perlakuan dengan pupuk kimia tunggal. Hal ini penting karena kestabilan pH tanah berperan dalam menjaga ketersediaan unsur hara esensial. Selain itu, kadar nitrogen, fosfor, dan kalium meningkat secara signifikan setelah aplikasi biofertilizer. Mikroba pelarut fosfat yang terkandung dalam biofertilizer membantu memobilisasi fosfor yang sebelumnya tidak tersedia bagi tanaman sehingga dapat diserap lebih optimal oleh akar. Sementara itu, keberadaan bakteri penambat nitrogen juga berkontribusi dalam menyediakan nitrogen tambahan secara alami, sehingga mengurangi ketergantungan terhadap pupuk urea.

Hasil pengukuran bahan organik tanah juga memperlihatkan tren peningkatan, terutama pada kombinasi biofertilizer dan pupuk kimia. Hal ini menunjukkan bahwa biofertilizer mampu memperbaiki sifat kimia dan biologi tanah dengan meningkatkan aktivitas mikroorganisme. Peningkatan bahan organik sangat berkaitan dengan perbaikan struktur tanah, kapasitas tukar kation, serta kemampuan tanah menahan air. Dengan demikian, penggunaan biofertilizer tidak hanya memberikan manfaat jangka pendek berupa peningkatan hasil panen, tetapi juga berdampak pada keberlanjutan sistem pertanian. Hasil panen cabai merah dan tomat pada perlakuan biofertilizer menunjukkan perbedaan yang nyata dibandingkan dengan perlakuan pupuk kimia. Jumlah buah per tanaman serta bobot total panen per petak meningkat cukup signifikan pada lahan yang diaplikasikan biofertilizer. Produktivitas per hektar juga lebih tinggi, dengan peningkatan rata-rata sekitar 15–20 persen dibandingkan perlakuan pupuk kimia tunggal. Temuan ini membuktikan bahwa biofertilizer dapat menjadi alternatif sekaligus pendukung penggunaan pupuk kimia untuk mencapai hasil panen optimal dengan biaya yang lebih efisien dan dampak lingkungan yang lebih rendah.

Dari sisi kualitas buah, perlakuan biofertilizer juga memberikan hasil yang positif. Buah cabai merah dan tomat yang dipanen dari lahan dengan aplikasi biofertilizer menunjukkan ukuran yang lebih seragam, warna yang lebih cerah, serta tekstur yang lebih baik dibandingkan dengan



perlakuan pupuk kimia tunggal. Hal ini mengindikasikan bahwa biofertilizer tidak hanya meningkatkan kuantitas, tetapi juga kualitas hasil panen, yang sangat penting dalam memenuhi standar pasar modern dan meningkatkan daya saing produk hortikultura dari Lombok Tengah. Diskusi dengan petani lokal mengungkapkan bahwa penerapan biofertilizer dianggap cukup mudah dan tidak menambah beban kerja secara signifikan. Mereka juga merasakan adanya penghematan biaya produksi karena penggunaan pupuk kimia dapat dikurangi hingga 30 persen tanpa menurunkan hasil panen. Sebaliknya, hasil panen justru meningkat dan lebih konsisten. Perspektif ini menunjukkan adanya potensi besar untuk adopsi biofertilizer secara lebih luas dalam praktik pertanian hortikultura di daerah tersebut.

Temuan ini sejalan dengan teori ekologi tanah yang menyatakan bahwa keseimbangan antara input kimia dan biologis akan menghasilkan agroekosistem yang lebih stabil. Kehadiran mikroorganisme dalam biofertilizer berperan penting dalam memperkuat interaksi rizosfer, sehingga penyerapan unsur hara menjadi lebih efisien. Tanaman yang tumbuh dalam kondisi tanah sehat memiliki ketahanan yang lebih baik terhadap stres lingkungan maupun serangan penyakit. Dengan demikian, penggunaan biofertilizer berkontribusi pada sistem pertanian berkelanjutan yang tidak hanya mengejar produktivitas jangka pendek, tetapi juga memperhatikan kesehatan tanah dan lingkungan. Analisis lebih lanjut menunjukkan bahwa kombinasi pupuk kimia dan biofertilizer memberikan hasil paling optimal, baik dari segi kesuburan tanah maupun hasil panen. Hal ini menunjukkan bahwa peralihan penuh ke biofertilizer mungkin belum sepenuhnya realistis untuk semua petani, terutama yang terbiasa dengan input kimia tinggi. Namun, integrasi keduanya dapat menjadi jalan tengah yang efektif untuk menyeimbangkan produktivitas dan keberlanjutan.

Selain itu, penggunaan biofertilizer juga berpotensi mengurangi dampak negatif pupuk kimia terhadap lingkungan. Penggunaan pupuk kimia dalam jangka panjang diketahui dapat menyebabkan degradasi tanah, pencemaran air, serta menurunkan biodiversitas mikroba tanah. Dengan mengombinasikan pupuk kimia dengan biofertilizer, dampak tersebut dapat ditekan, karena dosis pupuk kimia yang dibutuhkan berkurang dan aktivitas mikroba tanah tetap terjaga. Implikasi praktis dari temuan ini adalah perlunya strategi penyuluhan yang lebih masif kepada petani mengenai manfaat dan teknik aplikasi biofertilizer. Pemerintah daerah, lembaga pendidikan, dan organisasi petani dapat bekerja sama untuk menyediakan pelatihan, akses terhadap produk biofertilizer berkualitas, serta pendampingan teknis dalam implementasinya. Keberhasilan di tingkat petani kecil di Lombok Tengah dapat menjadi contoh bagi daerah lain dalam menerapkan inovasi pertanian berkelanjutan.

Dari perspektif ekonomi, hasil penelitian ini memperlihatkan bahwa biofertilizer dapat meningkatkan pendapatan petani melalui dua mekanisme utama, yaitu peningkatan produktivitas dan penghematan biaya produksi. Peningkatan hasil panen yang lebih tinggi berarti pendapatan dari penjualan produk meningkat, sementara pengurangan ketergantungan pada pupuk kimia mengurangi biaya input. Kombinasi keduanya memberikan keuntungan ekonomi yang nyata bagi petani, terutama dalam jangka panjang. Kondisi ini relevan dengan upaya meningkatkan ketahanan pangan nasional sekaligus mendukung kesejahteraan petani lokal.

Secara keseluruhan, hasil penelitian ini memperkuat pentingnya biofertilizer sebagai bagian dari strategi pertanian berkelanjutan. Aplikasi biofertilizer terbukti mampu memperbaiki kualitas tanah, meningkatkan produktivitas tanaman hortikultura, dan mengurangi dampak negatif pupuk kimia. Pengalaman petani di Lombok Tengah menunjukkan bahwa biofertilizer dapat diterapkan dengan mudah, memberikan hasil yang nyata, serta mendukung kesejahteraan ekonomi. Meskipun demikian, masih diperlukan penelitian lanjutan untuk menguji efektivitas biofertilizer pada berbagai jenis tanaman dan kondisi lahan, serta mengevaluasi dampak jangka panjangnya terhadap kesehatan tanah dan ekosistem. Dengan pendekatan yang integratif, biofertilizer dapat menjadi solusi nyata bagi pertanian berkelanjutan di Indonesia, sekaligus berkontribusi pada pencapaian tujuan pembangunan berkelanjutan, khususnya dalam bidang ketahanan pangan, pelestarian lingkungan, dan peningkatan kesejahteraan masyarakat pedesaan.

## KESIMPULAN DAN SARAN

Penggunaan biofertilizer terbukti memberikan dampak positif terhadap peningkatan kesuburan tanah dan hasil panen hortikultura di Kabupaten Lombok Tengah. Biofertilizer tidak hanya memperbaiki kondisi tanah dengan meningkatkan ketersediaan unsur hara, tetapi juga meningkatkan produktivitas cabai dan tomat secara signifikan. Integrasi biofertilizer dengan pupuk kimia menjadi strategi transisi yang efektif untuk menuju pertanian berkelanjutan. Rekomendasi dari penelitian ini adalah perlunya sosialisasi dan pelatihan kepada petani mengenai penggunaan biofertilizer, dukungan pemerintah dalam penyediaan akses dan subsidi pupuk hayati, serta pengembangan kebijakan pertanian berkelanjutan berbasis inovasi lokal. Dengan demikian, Lombok Tengah dapat menjadi model daerah yang berhasil mengintegrasikan inovasi ramah lingkungan dalam pertanian hortikultura.

#### DAFTAR PUSTAKA

- Bhattacharyya, P. N., & Jha, D. K. (2012). Plant growth-promoting rhizobacteria (PGPR): Emergence in agriculture. *World Journal of Microbiology and Biotechnology*, 28(4), 1327–1350. <https://doi.org/10.1007/s11274-011-0979-9>
- El-Yazeid, A., & Abou-Aly, H. E. (2011). Enhancing growth, productivity and quality of tomato plants using phosphate solubilizing microorganisms. *Australian Journal of Basic and Applied Sciences*, 5(9), 371–379. <https://doi.org/10.7537/marsajbas050911.52>
- Patra, A. K., & Singh, R. (2021). Soil fertility and crop productivity under different management practices. *Agriculture*, 11(3), 193. <https://doi.org/10.3390/agriculture11030193>
- Rana, A., Bhardwaj, D., Thakur, S., & Thakur, R. (2015). Significance of biofertilizers in crop production. *International Journal of Bio-resource and Stress Management*, 6(3), 363–369. <https://doi.org/10.5958/0976-4038.2015.00049.8>
- Reay, D. S., Davidson, E. A., Smith, K. A., Smith, P., Melillo, J. M., Dentener, F., & Crutzen, P. J. (2012). Global agriculture and nitrous oxide emissions. *Nature Climate Change*, 2(6), 410–416. <https://doi.org/10.1038/nclimate1458>
- Sharma, S. B., & Singh, R. P. (2020). Soil degradation and sustainable management. *Sustainability*, 12(15), 6102. <https://doi.org/10.3390/su12156102>
- Smith, S. E., & Read, D. J. (2010). Mycorrhizal symbiosis (3rd ed.). *Academic Press*. <https://doi.org/10.1016/C2009-0-03764-9>
- Soumare, A., Boubekri, K., Lyamlouli, K., Hafidi, M., Ouhdouch, Y., & Kouisni, L. (2020). From isolation of phosphate-solubilizing microbes to their formulation and use as biofertilizers: Status and needs. *Frontiers in Bioengineering and Biotechnology*, 8, 552. <https://doi.org/10.3389/fbioe.2020.00552>