

**BAKTERIOLOGI TUMBUHAN DALAM PERSPEKTIF
KESEHATAN TANAMAN, KEAMANAN PANGAN, DAN
PERTANIAN BERKELANJUTAN**



UNIVERSITAS GADJAH MADA

**Pidato Pengukuhan Jabatan Guru Besar
dalam Bidang Ilmu Bakteriologi Tumbuhan
pada Fakultas Pertanian
Universitas Gadjah Mada**

**Disampaikan pada Pengukuhan Guru Besar
Universitas Gadjah Mada
Tanggal 1 Juli 2025**

**oleh:
Prof. Dr. Tri Joko, S.P., M.Sc.**

Bismillahirrahmaanirrahiim
Assalamu'alaikum warahmatullahi wabarakatuh

Yang saya hormati,
 Ketua, Sekretaris, dan Anggota Majelis Wali Amanat, Universitas
 Gadjah Mada,
 Ketua, Sekretaris, dan Anggota Senat Akademik, Universitas Gadjah
 Mada,
 Ketua, Sekretaris, dan Anggota Dewan Guru Besar, Universitas Gadjah
 Mada,
 Rektor dan para Wakil Rektor Universitas Gadjah Mada,
 Dekan dan para Wakil Dekan Fakultas Pertanian, Universitas Gadjah
 Mada,
 Ketua dan Sekretaris Senat Fakultas Pertanian, Universitas Gadjah
 Mada,
 Para Dosen, Mahasiswa, Tenaga Kependidikan, dan segenap tamu
 undangan,

Pertama-tama marilah kita panjatkan puji syukur ke hadirat Allah SWT atas segala nikmat yang dilimpahkan kepada kita sehingga dapat mengikuti acara ini. Selawat dan salam semoga selalu tercurah kepada Rasulullah Muhammad SAW, keluarga, sahabat dan pengikutnya. Izinkanlah saya berdiri di sini untuk menyampaikan pidato pengukuhan Guru Besar saya dalam bidang Bakteriologi Tumbuhan pada Fakultas Pertanian, Universitas Gadjah Mada sebagai tradisi keilmuan yang telah berjalan di universitas tercinta kita. Terima kasih kepada Rektor Universitas Gadjah Mada yang telah memberikan kesempatan kepada saya untuk menyampaikan pidato pengukuhan yang berjudul:

**“Bakteriologi Tumbuhan dalam Perspektif Kesehatan Tanaman,
 Keamanan Pangan, dan Pertanian Berkelanjutan”**

Hadirin yang saya muliakan,

Bakteri merupakan makhluk hidup bersel satu yang berdasarkan studi arkeologi dianggap paling awal muncul di muka bumi. Bukti-bukti fosil menunjukkan bahwa bakteri sudah ada sekitar 4 milyar tahun

yang lalu (Das, 2019). Bakteri juga merupakan mikroorganisme yang paling adaptif dan dapat dijumpai di mana-mana bahkan di tempat yang paling ekstrem sekalipun di mana makhluk hidup lain tidak bisa hidup dan berkembang. Bakteri dapat dijumpai di dalam tanah, air, tanaman, hewan, dan juga pada sampah radioaktif. Yuan *et al.* (2025) baru-baru ini melaporkan satu spesies bakteri berhasil diisolasi dari stasiun ruang angkasa Tiangong milik Tiongkok yang kemudian diberi nama *Niallia tiangongensis*. Tim peneliti menemukan bahwa *N. tiangongensis* mampu bertahan dalam kondisi yang sangat menantang seperti paparan radiasi dan cekaman oksidatif di luar angkasa. Kemampuan adaptif yang sangat luar biasa ini berkaitan dengan kemampuannya dalam membentuk biofilm, mengatasi cekaman oksidatif, dan memperbaiki kerusakan DNA.

Selain kemampuan adaptif, keberadaan bakteri juga sangat melimpah. Kelimpahan bakteri di alam tidak hanya direpresentasikan oleh bakteri yang dapat dikulturkan. Sekitar 99% bakteri yang ada di alam masih belum dapat ditumbuhkan dalam media buatan sehingga masih banyak hal yang belum diketahui dari sifat dan peran penting bakteri di alam. Di dalam 1 gram tanah diperkirakan mengandung 40 juta sel bakteri dan dalam 1 mililiter air segar terdapat 1 juta sel bakteri (Koch, 2022). Secara umum, ada lima habitat utama di mana kelimpahan bakteri sangat tinggi meliputi sub permukaan laut dalam samudra (4×10^{29} sel), di atas sedimen samudra (5×10^{28}), sub permukaan dalam benua (3×10^{29}), tanah (3×10^{29}), dan Samudra (1×10^{29}). Habitat lainnya meliputi manusia, hewan, tumbuhan, air tanah, atmosfer, dan *microlayer* permukaan samudra. Sekitar 80% sel bakteri berada di dalam habitatnya akan membentuk lapisan biofilm (Flemming & Wurtz, 2019). Biofilm merupakan suatu kumpulan sel atau komunitas bakteri kompleks yang melekat pada suatu permukaan dan terbungkus dalam suatu matriks polimer yang berfungsi untuk melindungi dari kondisi lingkungan yang ekstrem, paparan antibiotik atau senyawa beracun, dan musuh alami (Zhao *et al.*, 2023). Gen-gen yang terlibat dalam sintesis biofilm juga berperan dalam virulensi suatu bakteri patogen. Joko *et al.* (2007) melaporkan mutasi gen *mfsX* pada *Dickeya dadantii* yang menyebabkan kehilangan motilitas dan ketidakmampuan

membentuk formasi biofilm telah menyebabkan penurunan virulensi yang signifikan pada tanaman inang.

Bakteri memainkan peran yang sangat penting dalam kehidupan manusia. Sebagian merugikan sebagai patogen, kontaminan, dan penghasil toksin yang menyebabkan keracunan. Sebagian besar yang lain justru bermanfaat dalam kehidupan manusia (Venkova *et al.*, 2018).

Hadirin yang saya muliakan,

Sejarah lahirnya bakteriologi tumbuhan ditandai dengan penemuan penyakit hawar api (*fire blight*) pada tanaman pir pada tahun 1878 oleh Thomas Jonathan Burrill. Beliau menemukan adanya cairan yang keluar dari jaringan floem pada tanaman sakit yang hal tersebut tidak ditemukan pada tanaman sehat. Melalui teknik kultur murni di laboratorium, beliau menyimpulkan bahwa bakteri kemungkinan sebagai penyebabnya. Pada tahun 1897, Frediano Cavara, seorang ahli botani asal Italia melakukan pengamatan secara mendalam pada tanaman anggur yang menunjukkan gejala penyakit tumor. Hasil isolasi didapatkan kultur murni bakteri yang kemudian diidentifikasi oleh Erwin F. Smith sebagai *Bacterium tumefaciens* (Smith & Townsend, 1907), bakteri yang dalam klasifikasi saat ini dikenal sebagai *Agrobacterium tumefaciens*. Smith jugalah yang kemudian banyak melakukan studi bakteriologi tumbuhan dan menemukan beberapa patogen penting seperti *Bacillus carotovorus* (*Pectobacterium* spp. dan *Dickeya* spp.), *Xantomonas campestris*, dan *Pseudomonas solanacearum* (*Ralstonia solanacearum*). Pada tahun 1896, Smith menyampaikan bahwa asosiasi bakteri patogen dengan tanaman merupakan hal yang umum terjadi seperti halnya bakteri patogen pada hewan dan manusia. Dengan kontribusinya yang sangat besar maka Smith dinobatkan sebagai Bapak Bakteriologi Tumbuhan (Kado, 2010).

Salah satu tokoh penting dan ahli pertanian di Indonesia yang sangat besar jasanya dalam perkembangan bakteriologi tumbuhan adalah Prof. Toyib Hadiwijaya (Menteri Pertanian dalam Kabinet Pembangunan I dan Kabinet Pembangunan II, 1968–1978), yang menginisiasi penelitian penyakit mati bujang pada tanaman cengkih. Disertasi beliau tentang penyakit mati bujang ditulis dalam tiga bahasa, yakni Belanda, Indonesia, dan Inggris. Beliau juga merupakan Guru

Besar pertama di Indonesia dalam bidang Fitopatologi. Penyakit mati bujang yang secara internasional dikenal sebagai penyakit Sumatra telah menimbulkan kerusakan dan menyebabkan kehancuran perkebunan cengkih di Indonesia. Trianom *et al.* (2018) telah berhasil mendesain primer spesifik berdasarkan gen endoglukanase (*egl*) untuk mendeteksi *Ralstonia syzygii* subsp. *syzygii* (Rss), penyebab penyakit Sumatra. Joko *et al.* (2023) melaporkan keberadaan bakteri patogen pada jaringan daun, ranting, dan akar tanaman menggunakan teknik polymerase chain reaction (PCR). Selain itu Islami *et al.* (2024) juga menemukan bahwa Rss masih terdapat pada sisa-sisa akar pada tunggul tanaman cengkih yang telah mati. Hasil analisis filogenetik menunjukkan Rss memiliki hubungan kekerabatan yang sangat dekat dengan *R. syzygii* subsp. *celebesensis* (Rsc) (penyebab penyakit darah pada tanaman pisang) dan *R. syzygii* subsp. *indonesiensis* (Rsi) (penyebab penyakit layu pada tanaman *Solanaceae*) dengan kemiripan sebesar 95% (Trianom *et al.*, 2019).

Kehilangan hasil produk pertanian karena penyakit tumbuhan yang disebabkan oleh bakteri patogen bervariasi tergantung jenis penyakitnya. Meskipun studi tentang nilai ekonominya belum banyak dilakukan, diperkirakan secara global kerugian ekonomi dalam setahun dapat mencapai US\$ 49,6 milyar ($\pm$ 811,7 triliun rupiah) (Goto, 1990). Selain itu kandungan nutrisi pada produk pertanian juga sangat terpengaruh, misalnya buah jeruk dari tanaman terinfeksi penyakit huanglongbing memiliki kualitas dan kandungan nutrisi yang lebih rendah (Dala-Paula *et al.*, 2019).

Perubahan iklim tidak hanya berdampak pada tanaman secara langsung, tetapi juga dipengaruhi oleh patogennya. Sebagai contoh, *Burkholderia glumae* yang awalnya merupakan patogen minor telah meningkat statusnya menjadi patogen utama pada padi. Hal ini berkaitan dengan perubahan iklim yaitu peningkatan suhu pada malam hari disertai kelembapan serta curah hujan yang tinggi. Penyakit busuk bulir padi karena *B. glumae* harus menjadi perhatian kita bersama mengingat (a) sifat patogen yang terbawa benih, (b) iklim rata-rata di Indonesia sangat cocok untuk perkembangan *B. glumae*, (c) potensi kehilangan hasil dapat mencapai 75% (Joko, 2017). Selain itu *B. glumae* juga merupakan salah satu patogen yang termasuk *cross-*

kingdom pathogenic bacteria karena dilaporkan juga dapat menyebabkan penyakit pada manusia (Kirzinger *et al.*, 2011).

Hadirin yang saya muliakan,

Perserikatan Bangsa-Bangsa melalui *Food and Agriculture Organization* (FAO) telah menetapkan tanggal 12 Mei setiap tahunnya sebagai hari kesehatan tanaman internasional (*international day of plant health*–IDPH). Hal ini dilakukan untuk meningkatkan kesadaran global tentang pentingnya perlindungan tanaman dari organisme pengganggu tumbuhan (OPT) sehingga dapat membantu menyelesaikan masalah kelaparan, mengurangi kemiskinan, melindungi keanekaragaman hayati dan lingkungan, dan meningkatkan pembangunan ekonomi. Pada tahun 2025, tema yang diusung oleh FAO adalah “*the importance of plant health in one health*” (FAO, 2025).

Sepuluh ribu tahun silam sejak pertanian mulai dikenal oleh nenek moyang manusia, budidaya pertanian telah menghadapi tantangan hama dan penyakit yang tidak pernah selesai sampai saat ini. Tantangan semakin besar mengingat populasi penduduk yang semakin meningkat, diperkirakan pada tahun 2050 penduduk Indonesia akan mencapai 324 juta jiwa dari 9,8 milyar penduduk dunia. Salah satu kendala penyebab turunnya produksi pertanian adalah penyakit tumbuhan yang disebabkan bakteri patogen tumbuhan, sehingga kesehatan tanaman menjadi hal yang sangat penting untuk diperhatikan oleh pemerintah, peneliti, dan akademisi. Pada dasarnya kesehatan tanaman didefinisikan sebagai tanaman yang bebas penyakit. Istilah ini sering dipakai peneliti pada penelitian rumah kaca misalnya tanaman yang tidak terinfeksi patogen dianggap sebagai tanaman sehat, tetapi definisi yang lebih luas mencakup beberapa indikator penting yang lain seperti kemampuan dalam penyerapan nutrisi dan efisiensi fotosintesis. Menurut Döring *et al.* (2012) ada dua pengertian kesehatan tanaman yang saling tumpang tindih. Pengertian yang pertama merujuk pada kerangka kerja pada pemeriksaan importasi benih tanaman yang bebas dari OPT karantina, sedangkan istilah yang kedua lebih spesifik dan menyentuh persoalan yang lebih luas pada seluruh aspek perlindungan tanaman. Agrios (2005) mendefinisikan kesehatan tanaman sebagai

kemampuan tanaman untuk menjalankan fungsi fisiologisnya sesuai dengan potensi genetiknya.

Terlepas dari semua itu bakteri memegang peran yang sangat penting dalam kesehatan tanaman (Reifschneider, 2020). Peran yang pertama sebagai patogen yang dapat mengganggu kesehatan tanaman, sedangkan peran yang kedua terkait kemampuannya untuk mendukung dan meningkatkan kesehatan tanaman. Asosiasi bakteri dengan tumbuhan sudah berlangsung jutaan tahun silam ketika tumbuhan mulai muncul di muka bumi, sejak saat itu bakteri mengalami evolusi mengikuti asosiasi ini. Transisi evolusi yang terjadi meliputi peran bakteri sebagai saprofit, epifit, ektosimbion, endosimbion, parasit, dan patogen. Sebagai patogen, interaksi yang terjadi antara bakteri dan tanaman meliputi: (1) interaksi bawah tanah, (2) interaksi endosimbiotik (*xylem- and phloem-limited*), dan (3) interaksi filosfer.

Beberapa patogen penting seperti *Ralstonia solanacearum* yang menyebabkan penyakit layu dapat bertahan di dalam tanah hingga tiga tahun tanpa keberadaan tanaman inang dan sewaktu-waktu akan menyebabkan penyakit ketika tanaman inang sudah tersedia. *R. solanacearum* dilaporkan memiliki kisaran inang yang sangat luas meliputi 200 spesies tanaman dan menyebabkan kehilangan hasil setiap tahunnya sekitar US\$ 1 milyar (Phiri *et al.*, 2024). *Pectobacterium* spp. yang menyebabkan penyakit busuk lunak dilaporkan mampu bertahan di dalam tanah lebih dari satu tahun, penyakit busuk lunak pada tanaman kentang dapat menyebabkan kerugian mencapai 46 juta Euro setiap tahunnya (Dupuis *et al.*, 2021).

Bakteri patogen yang hidup terbatas pada jaringan xilem maupun floem jumlahnya tidak banyak, tetapi memiliki arti penting yang tidak dapat diabaikan. Sebagai contoh, *Xylella fastidiosa* yang merupakan bakteri *xylem-limited* memiliki kisaran inang yang sangat luas, baik tanaman hias, maupun tanaman pertanian lain dengan jumlah inang mencapai lebih dari 300 spesies dalam 63 famili yang berbeda (Wells *et al.*, 1987; Rapisavoli *et al.*, 2018). Persebaran *X. fastidiosa* telah merata di wilayah asalnya yaitu Benua Amerika dan pada tahun 2014 mengakibatkan terjadinya *outbreak* di Benua Eropa pada tanaman zaitun yang menyebabkan kehilangan hasil mencapai 132 juta Euro setiap tahunnya. *X. fastidiosa* dengan segera ditetapkan menjadi OPT

Karantina oleh *European and Mediterranean Plant Protection Organization* (EPPO) pada tahun 2015 (EPPO, 2018). Hingga saat ini, *X. fastidiosa* belum pernah dilaporkan ada di wilayah Indonesia dan masih termasuk jenis OPTK A1 sesuai dengan Permentan No. 25 Tahun 2020. Bakteri patogen yang hidup terbatas pada jaringan floem contohnya *Candidatus Liberibacter asiaticus* (CLas) yang menyebabkan penyakit huanglongbing pada tanaman jeruk di seluruh dunia termasuk Indonesia. Beberapa sentra jeruk seperti Kabupaten Sambas (Kalimantan Barat) yang pernah sukses dalam pengembangan jeruk kemudian hancur akibat penyakit huanglongbing. Lestiyani *et al.* (2024) melaporkan bahwa CLas secara alami dapat menginfeksi tanaman *Muraya* yang merupakan kerabat dekat tanaman jeruk. Kehilangan hasil akibat penyakit huanglongbing mencapai 39,2 juta dolar Amerika setiap tahunnya (da Costa *et al.*, 2021). *Pseudomonas syringae* merupakan salah satu contoh bakteri patogen yang menghuni filosfer. Dalam siklus hidupnya, 50% berperan sebagai epifit dan 50% sebagai patogen. Dalam perannya sebagai patogen, bakteri akan masuk ke dalam jaringan tanaman melalui luka atau lubang alami seperti stomata. Stomata merupakan salah satu struktur tanaman yang juga berfungsi sebagai penghalang fisik masuknya patogen melalui mekanisme penutupan stomata ketika ada bakteri yang masuk. *P. syringae* menjadi salah satu model dalam kajian patosistem selain pada *Dickeya chrysanthemi* (Joko *et al.*, 2018). Hal ini terkait dengan kemampuannya untuk mengatasi sistem imun yang dikembangkan oleh tanaman inang. Melotto *et al.* (2017) melaporkan bahwa ketika tanaman merespons kehadiran bakteri patogen dengan cara menutup stomata melalui pengenalan sinyal *pathogen associated molecular patterns* (PAMPs), *P. syringae* mampu membuka kembali stomata yang telah tertutup tersebut dengan menghasilkan protein efektor yaitu *coronatine*.

Selain dapat hidup di dalam tanah dan jaringan tanaman, bakteri patogen tumbuhan juga telah berevolusi untuk dapat hidup di dalam tubuh serangga yang menjadi vektornya. Sebagai contoh *Pantoea stewartii* subsp. *stewartii*, penyebab penyakit layu pada tanaman jagung. Roper (2011) melaporkan bahwa *P. stewartii* subsp. *stewartii* tidak bisa hidup sebagai saprofit sehingga di alam tidak akan bisa hidup tanpa inangnya. Menarik untuk diketahui bahwa selama musim dingin

ketika tidak ada tanaman inang, bakteri akan bertahan dalam tubuh serangga (*Chaetocnema pulicaria*) yang mengalami hibernasi. Ketika sudah ada tanaman inang, serangga memulai aktivitas makannya pada jaringan epidermis daun. *P. stewartii* subsp. *stewartii* akan dikeluarkan oleh *C. pulicaria* melalui feses yang selanjutnya akan masuk melalui luka yang terjadi akibat aktivitas makan serangga. Penyebaran penyakit Sumatra pada tanaman cengkih juga sangat dipengaruhi oleh serangga vektornya, yaitu *Hindola striata* di pulau Jawa dan *Hindola vulva* di pulau Sumatra. Kartika (2021) melaporkan keberadaan *R. syzygii* subsp. *syzygii* pada *H. striata* melalui deteksi molekuler dengan teknik PCR. Peran vektor pada bakteri patogen yang berasosiasi dengan serangga menjadi hal yang sangat penting untuk diperhatikan.

Hadirin yang saya muliakan,

Kesadaran masyarakat dan kebutuhan akan produk pertanian yang sehat dan bebas bahan kimia sintetis saat ini yang semakin meningkat menjadi salah satu dasar penggunaan agens pengendali hayati (APH) untuk pengelolaan OPT. Pengendalian hayati dengan memanfaatkan musuh alami, seperti bakteri antagonis menjadi salah satu alternatif yang menjanjikan. Pemanfaatan beberapa bakteri seperti *Bacillus*, *Streptomyces*, dan *Pseudomonas* sebagai APH untuk mengatasi penyakit-penyakit penting tumbuhan telah dikenal sejak lama dan dikaji secara mendalam. Selain itu, bakteri juga banyak dimanfaatkan untuk mengendalikan serangga hama maupun nematoda parasit tumbuhan. Mekanisme biokontrol bakteri sebagai APH menurut Köhl *et al.* (2019) dapat dilakukan melalui beberapa pendekatan: (1) interaksi langsung berupa kompetisi nutrisi dan ruang, (2) interaksi langsung melalui penghambatan pertumbuhan patogen, dan (3) secara tidak langsung melalui perbaikan kesehatan tanaman dan ketahanan terimbas.

Kompetisi nutrisi dan ruang misalnya dilakukan oleh rizobakteri dengan terlebih dulu melakukan kolonisasi di area perakaran dan membentuk lapisan biofilm. Dengan demikian, daerah perakaran yang kaya akan nutrisi menjadi wilayah teritorinya dan patogen tular tanah kehilangan kesempatan sehingga tidak mampu melakukan penetrasi melalui area perakaran. Beberapa patogen tumbuhan saat sebelum

dapat mengolonisasi jaringan tanaman inang biasanya sangat tergantung pada senyawa-senyawa gula dan asam amino yang dilepaskan oleh tanaman di daerah perakaran. Perebutan dan kompetisi nutrisi menjadikan patogen rentan untuk berkembang. Oleh karena itu, pemanfaatan bakteri yang kompetitif dalam mendapatkan nutrisi memiliki potensi yang sangat besar sebagai APH. Selain kemampuannya dalam kompetisi nutrisi, bakteri juga mampu menghasilkan senyawa-senyawa yang bersifat antibiosis berupa metabolit sekunder. *Bacillus* misalnya menghasilkan senyawa lipopeptida seperti *iturin*, *surfactin*, *bacillomycin*, dan *fengycin*. *Bacillus* juga menghasilkan enzim pendegradasi dinding sel jamur dan nematoda patogen seperti kitinase dan protease. Jayanti *et al.* (2025) melakukan deteksi dan melaporkan gen-gen yang menyandi senyawa antibiosis dan *anti-quorum sensing* (*quorum quenching* - *aiiA*) pada beberapa isolat *Bacillus* yang diisolasi dari berbagai tanaman inang. Dilaporkan bahwa terdapat beberapa gen antibiotik yang dihasilkan oleh *B. subtilis* dan *B. amyloliquefaciens*, di antaranya *bacillomycin D* (*bamC*), *fengycin* (*fenD*), *iturin* (*ituA*), *surfactin* (*Sfp*), dan *zwitermicin* (*zmaR*). Produksi surfaktin, iturin dan *bacillomycin* menunjukkan aktivitas antijamur yang kuat di samping itu surfaktin memiliki kemampuan biosurfaktan terkuat (Athukorala *et al.*, 2009). Surfaktin diketahui mampu menginduksi terbentuknya biofilm pada bakteri. Sementara, mekanisme *fengycin* sebagai antijamur terhadap patogen berlangsung melalui kerusakan membran plasma, dinding sel, hifa, dan konidia jamur. Hal tersebut dapat mengakibatkan kematian sel, mempengaruhi membran sel, organ sel, dan menghambat sintesis DNA patogen serta menyebabkan penurunan virulensi (Hanif *et al.*, 2019). *Bacillomycin D* menyebabkan perubahan morfologi pada membran plasma dan dinding sel hifa serta konidia hingga akhirnya menyebabkan kematian pada sel patogen (Gu *et al.*, 2017). Iturin memiliki aktivitas antibakteri yang terbatas, tetapi memiliki rentang aktivitas antijamur yang luas (Yun-feng *et al.*, 2012). Selain memiliki fungsi antibiotik yang kuat, iturin dapat meningkatkan *swarming motility* pada bakteri APH (Alina *et al.*, 2015). Di samping itu, adanya gen *aiiA* menunjukkan aktivitas penghambatan pembentukan *quorum sensing* pada bakteri patogen. Secara umum, gen *aiiA* ini mampu

menonaktifkan AHLs (*N-Acyl- homoserine lactones*) atau *quorum sensing* dari bakteri Gram negatif. Pada dasarnya, *quorum sensing* mendukung kemampuan bakteri patogen dalam membentuk biofilm dan virulensi. Inaktivasi sistem *quorum sensing* patogen dengan *quorum quenching* menjadi salah satu strategi pengendalian yang cukup efektif, di mana terdapat tiga mekanisme enzimatik *quorum quenching* dalam penghambatan pembentukan *quorum sensing* pada patogen, yaitu *AHL lactonase*, *AHL acylase*, serta *AHL oxidase* dan *reductase*. Di antara mekanisme tersebut, *AHL lactonase* yang disandi oleh gen *aiiA* banyak ditemukan pada *Bacillus* (Raafat *et al.*, 2019).

Bakteri APH juga berperan dalam kesehatan tanaman secara tidak langsung melalui mekanisme pensinyalan biokimia. Interaksi antara tanaman dengan bakteri di rizosfer menjadi penentu kesehatan tanaman, produktivitas, dan kesuburan tanah (Riseh *et al.*, 2025). Ketahanan terimbas merupakan produk dari interaksi “bakteri baik” dengan tanaman inang, hal ini merupakan salah satu bagian dari strategi pertahanan tanaman untuk mengatasi cekaman biotik. Ketahanan yang terbentuk biasanya berupa induksi sistemik (*induced systemic resistance*-ISR). Mekanisme ketahanan terimbas melibatkan produksi *reactive oxygen species* (ROS), fitoaleksin, senyawa-senyawa fenol, *pathogenesis-related* (PR) protein, atau dapat juga berupa terbentuknya modifikasi struktur dinding sel dan kutikula yang dapat menjadi penghalang fisik penetrasi patogen ke dalam jaringan tanaman. Stimulan yang dapat mengimbas ketahanan sistemik dikenal MAMPs (*microbe-associated molecular patterns*) (Pieterse *et al.*, 2014). Flagelin yang merupakan protein penyusun flagela merupakan salah satu stimulan yang paling banyak dikaji. ISR bergantung pada jalur yang diatur oleh *jasmonic acid* (JA) dan etilen (ET). *Plant growth promoting rhizobacteria* (PGPR) merupakan salah satu dari berbagai kelompok mikroorganisme yang berasosiasi dengan tanaman yang dapat menginduksi sistem pertahanan tanaman yang dapat mengurangi keparahan penyakit atau kejadian penyakit yang disebabkan oleh patogen (van Loon & Glick, 2004). Selain flagelin, elisitor lainnya yang dapat mengimbas ISR adalah siderofor, antibiotik (DAPG dan *pyocyanin*), biosurfaktan, dan *volatile organic compounds* (VOCs - *2R,3R-butanediol*). Pendekatan signalomik berbasis metabolomik

merupakan suatu metode baru yang dapat dilakukan dalam melakukan seleksi bakteri bermanfaat untuk perbaikan kesehatan tanaman. Selama ini dalam proses seleksi dan skrining bakteri APH lebih banyak berbasis pada kemampuan antagonisme belaka, sehingga peran penting sistem pensinyalan biokimia yang merupakan interaksi dan *cross-talk* antara bakteri dan tanaman dapat lebih dioptimalkan.

Peran penting bakteri dalam kesehatan tanaman selain memberikan peningkatan imun melalui sistem pensinyalan biokimia yakni dengan meningkatkan pertumbuhan secara langsung melalui beragam mekanisme dengan menyediakan faktor pertumbuhan. Fiksasi nitrogen oleh bakteri merupakan proses biologis di mana bakteri mengubah nitrogen (N_2) menjadi amonia (NH_3) dan dapat dilakukan oleh bakteri penambat nitrogen. Gen nitrogenase (*nif*) yang diperlukan untuk fiksasi nitrogen merupakan gen yang terlibat dalam aktivasi protein Fe nitrogenase, biosintesis kofaktor besi, dan gen pengatur yang diperlukan untuk sintesis dan menjalankan fungsi enzim (Souza *et al.*, 2015). Bakteri pelarut fosfat (*phosphate solubilization bacteria*-PSB) menyintesis asam organik yang melarutkan P (PO_4^{3-}) yang tidak tersedia untuk tanaman menjadi bentuk yang tersedia seperti H_2PO_4 dan HPO_4 (Suleman *et al.*, 2018).

Kandungan sitokinin dan pertumbuhan tanaman dilaporkan meningkat pada tanaman selada (*lettuce*) yang diinokulasi dengan *Bacillus subtilis* (Arkhipova *et al.*, 2005). Giberelin dikenal sebagai stimulator pertumbuhan tanaman termasuk dalam pemanjangan batang, perkecambahan, pembungaan, pengatur buah, peningkatan laju fotosintesis dan kandungan klorofil (Gupta *et al.*, 2013). Bakteri penghasil giberelin telah diamati pada *Achromobacter xylosoxidans*, *Gluconobacter diazotrophicus*, *Acinetobacter calcoaceticus*, *Azotobacter*, *Bacillus*, *Herbaspirillum*, dan *Azospirillum* (Compant *et al.*, 2019). Hormon IAA meningkatkan luas permukaan akar dan panjang akar, sehingga tanaman memiliki akses yang lebih besar untuk mendapatkan nutrisi di dalam tanah (Glick, 2012). IAA disintesis oleh setidaknya tiga jalur biosintesis yang berbeda. Jalur-jalur tersebut adalah jalur *indole pyruvic acid* (IPyA), jalur *indole acetamide* (IAM), jalur *indole acetaldoxime* (IAOx)/ *indolacetonitrile* (IAN), jalur *indole*

acetaldehyde (IAH), dan jalur *tryptamine* (Olanreweju *et al.*, 2017). Gen *idpC* merupakan salah satu gen yang terlibat dalam sintesis IAA oleh PGPB dalam mengatur regulasi ekspresi gen. Gen *idpC* menyintesis IAA melalui jalur IpyA. Bakteri yang memiliki gen *idpC* dilaporkan berasosiasi dan menguntungkan bagi tanaman (Raddadi *et al.*, 2008). Induksi *ACC-synthase* sebagai respons terhadap sinyal cekaman terutama bertanggung jawab untuk peningkatan kadar etilen pada tanaman. ACC merupakan prekursor langsung etilen, sehingga akumulasi tinggi dalam jaringan tanaman menghasilkan etilen pada tahap awal respons tanaman terhadap cekaman (Shaharoon *et al.*, 2012). Bakteri yang memproduksi enzim ACC (*aminocyclopropane-1-carboxylate*) deaminase meningkatkan pertumbuhan tanaman dengan menurunkan kadar etilen tanaman. Telah dilaporkan bahwa beberapa bakteri penghasil ACC-deaminase memperbaiki pertumbuhan tanaman pada kondisi tercekam seperti kebanjiran (Grinkco & Glick, 2001), salinitas tinggi, dan kekeringan (Mayak *et al.*, 2004).

Hadirin yang saya muliakan,

Pangan merupakan kebutuhan dasar manusia dan harus dipenuhi setiap saat. Pemenuhan kebutuhan pangan ini sangat penting untuk memastikan kelangsungan hidup dan kualitas sumber daya manusia. Ketersediaan dan keamanan pangan tidak hanya terkait pada aspek kuantitas, namun juga kualitas produk untuk aman dikonsumsi. Dalam hal ini, peran bakteri tumbuhan menjadi krusial dalam perspektif keamanan pangan dan sering kali bersifat dualistik, sebagai patogen atau sebagai kontaminan. Kasus kematian akibat kontaminasi bakteri di Indonesia pertama kali dilaporkan pada tahun 1895 karena keracunan asam bongkrek berhubungan dengan konsumsi tempe bongkrek (Gaffar, 2023). Bakteri penyebabnya pertama kali dilaporkan oleh Mertens dan Van Veen dari Institut Eijkman pada tahun 1930-an yaitu *Burkholderia gladioli* pv. *coccovenans*, kerabat dekat *B. gladioli* pv. *gladioli* penyebab penyakit busuk pada bunga bakung dan bawang bombai. Keracunan asam bongkrek tidak hanya terjadi di Indonesia, tapi juga dilaporkan di Tiongkok pada mie dan fermentasi bubur jagung, dan Afrika Selatan pada minuman fermentasi tradisional Afrika (Han *et al.*, 2023).

Keamanan pangan dapat terancam oleh kontaminasi primer ataupun sekunder. Kontaminasi primer terjadi sebelum atau selama proses produksi, seperti penyiraman tanaman menggunakan air tercemar, pupuk kandang yang mengandung patogen, residu pestisida, maupun logam beracun. Kontaminasi primer dapat terjadi di lahan pertanian, melalui interaksi bakteri dengan tanaman inang yang berpotensi sebagai patogen bagi manusia, contohnya *Listeria monocytogenes*, *Salmonella*, dan *Escherichia coli*. *L. monocytogenes* merupakan bakteri Gram positif, bersifat patogen pada manusia, dan dikenal sebagai penyebab penyakit serius yang disebut listeriosis. Meskipun tidak sepopuler *Salmonella* atau *E. coli*, *L. monocytogenes* merupakan salah satu penyebab tingkat kematian tertinggi di antara penyakit yang berasal dari makanan (*foodborne diseases*), terutama di Eropa. Pada tahun 1985, dilaporkan terjadinya 142 kasus, 28 kematian dan 20 keguguran pada ibu hamil karena konsumsi produk *soft cheeses* yang mengandung bakteri ini (Jackson *et al.*, 2018). The European Food Safety Authority menyampaikan hasil survei kejadian *L. monocytogenes* pada 2.357 produk buah dan sayur pada tahun 2019 (Boelaert *et al.*, 2021). Kejadian listeriosis juga telah terjadi di Eropa yang disebabkan konsumsi dari jagung beku, sayuran beku dan jamur enoki impor dari Korea (Truong *et al.*, 2021). Hal ini semakin menjadikan keberadaan *L. monocytogenes* dalam produk pangan merupakan tantangan besar bagi keamanan pangan global. Ketahanan terhadap dingin, serta kemampuannya membentuk biofilm pada permukaan logam dan plastik, menjadikan *L. monocytogenes* sulit untuk diatasi dalam pengolahan pangan. *L. monocytogenes* dapat ditemukan di berbagai lingkungan meliputi tanah, air maupun vegetasi. Kontaminasi bakteri dilaporkan pada produk pangan segar meliputi stroberi (prevalensi 10%), kentang (prevalensi 15%), peterseli (prevalensi 5%) (Szymczak *et al.*, 2014). Prevalensi *L. monocytogenes* pada produk sayur maupun buah dapat bervariasi antar negara karena adanya berbagai faktor yang berpengaruh.

Terlepas dari habitatnya, *L. Monocytogenes* berkolonisasi di perakaran (rizosfer) maupun permukaan tumbuhan (filosfer). Kolonisasi dan kelangsungan hidup dari *L. monocytogenes* bergantung pada interaksi kompleks antara lingkungan sekitar dengan

kemampuannya dalam mengenali respons dari lingkungan. Proses awal dimulai dari penempelan bakteri, kemudian diikuti oleh pembentukan eksopolisakarida, dan berakhir dengan hidup berkolonisasi pada tumbuhan. Matereke & Okoh (2020) melaporkan ada beberapa faktor virulensi yang mendukung kemampuan dari *L. monocytogenes* antara lain *listeriolysin O* (LLO), *phosphatidylinositol-specific phospholipase C* (*plcA*), *non-specific phosphatidylcholine phospholipase C* (*plcB*), protein *actA* (*actA*), Internalin A (*inlA*) dan Internalin B (*inlB*).

Bakteri patogen manusia lainnya yang dilaporkan dapat hidup dan mengkolonisasi tanaman yaitu *Salmonella* dan *E. coli*. Barak *et al.* (2011) melaporkan kolonisasi *S. enteritica* pada filosfer tanaman tomat, hal ini dapat terjadi karena karena penggunaan pupuk yang berasal dari kotoran hewan tercemar *Salmonella*. Beberapa penemuan penting menunjukkan bahwa *Salmonella* dan *E. coli* dapat tumbuh dan berkembang pesat pada daun dan akar tanaman. Selama ini *E. coli* digunakan sebagai indikator pencemaran feses di tanah dan air karena diasumsikan berasal dari manusia dan hewan berdarah panas. Penelitian menunjukkan bahwa di lingkungan tropis seperti Hawaii, *E. coli* ditemukan dalam konsentrasi tinggi di semua aliran sungai, dan sumbernya berasal dari tanah itu sendiri. Meskipun bakteri asli tanah lebih efisien dalam memanfaatkan nutrisi, *E. coli* diduga dapat tumbuh secara sporadis ketika ada ketersediaan nutrisi (Byappanahalli & Fujioka, 1998). Kini diketahui bahwa *E. coli* bersifat *ubiquitous* (tersebar luas) dan dapat hidup serta berkembang biak di tanah dan lingkungan alami lainnya, terutama dalam kondisi tropis, subtropis, maupun sedang, serta mampu bertahan dalam jangka waktu yang lama (Nautiyal *et al.*, 2010). Beberapa strain *E. coli* dapat menyebabkan penyakit serius pada manusia, salah satunya penyebab diare akut. Antara tahun 2011 hingga 2022, Tiongkok telah mencatat sebanyak 413 kejadian wabah *E. coli* penyebab diare yang ditularkan melalui makanan, yang mengakibatkan 8.127 kasus sakit, 2.565 rawat inap, dan satu kematian. *Enteraggregative Escherichia coli* (EAEC) muncul sebagai penyebab utama wabah (48,82%), dengan kantin sekolah menjadi lokasi paling sering terjadinya wabah (21,79%) (Wang *et al.*, 2024). Hilborn *et al.* (1999) melaporkan adanya *outbreak E. coli* O157:H7 di Connecticut dan Illinois yang berhubungan dengan

konsumsi selada yang menyebabkan sakit pada 61 orang. Investigasi yang dilakukan tim peneliti menyimpulkan bahwa selada yang terkontaminasi *E. coli* O157:H7 ditanam berdekatan dengan peternakan sapi.

Hadirin yang saya muliakan,

Kesehatan tanaman merupakan suatu hal yang sangat fundamental bagi kehidupan di muka bumi, umat manusia, dan kesehatan planet secara umum. Kesehatan manusia dan hewan sangat tergantung pada ketersediaan pangan dan pakan yang sehat, keamanan pangan (risiko kontaminasi patogen), layanan ekosistem (kualitas udara dan lingkungan), dan mitigasi resistensi antimikrobia (penggunaan antibiotik dan kotoran hewan tercemar antibiotik) (Lorenzini & Nali, 2025). Integrasi kesehatan tanaman dalam konsep *One Health* menjadi hal yang sangat penting seperti yang menjadi tema sentral FAO tahun 2025.

Konsep *One Health* merupakan sebuah pendekatan interdisiplin tentang pentingnya kesadaran bahwa kesehatan manusia sangat berhubungan dengan kesehatan hewan dan lingkungan. Awalnya konsep ini diambil dari ide “*one medicine*” (1984) oleh Prof. Calvin Schwabe dari kedokteran hewan, Universitas California, Davis yang kemudian berkembang menjadi sebuah pendekatan holistik interdisiplin untuk menghadapi tantangan kesehatan global (Garcia *et al.*, 2020). *One Health* memiliki tujuan aspiratif untuk memastikan kesehatan manusia, hewan, tumbuhan, dan lingkungan melalui penelitian kolaboratif transdisipliner (Scholthof, 2024). Pentingnya integrasi kesehatan tanaman dalam konsep *One Health* menurut Andrivon *et al.* (2021) karena gangguan kesehatan tanaman juga akan sangat berdampak pada kesehatan manusia terkait dengan beberapa pertimbangan sebagai berikut:

1. Bencana kelaparan yang terjadi di Irlandia sekitar tahun 1840-an akibat hancurnya pertanian kentang yang terjadi karena penyakit hawar daun (*Phytophthora infestans*). Kentang merupakan makanan pokok penduduk Irlandia sehingga ketidaktersediaan kentang saat itu menyebabkan 80% penduduknya mengalami kelaparan hebat (*great famine*). Dalam lima tahun saja, penduduk

Irlandia yang saat itu berjumlah sekitar 8 juta jiwa berkurang menjadi 5,5 juta jiwa akibat kematian dan sebagian bermigrasi ke negara lain. Dampak dari penyakit tumbuhan secara langsung berupa ancaman ketersediaan pangan dan secara tidak langsung pada berkurangnya penghasilan petani (Kannan *et al.*, 2015) sehingga akan berdampak pada ketidakmampuan mendapatkan layanan kesehatan bagi petani yang terdampak.

2. Beberapa patogen tumbuhan juga dapat menyebabkan penyakit pada manusia (*cross-kingdom pathogens*).
3. Toksin yang dihasilkan patogen tumbuhan dan mengontaminasi produk pertanian dapat menyebabkan gangguan kesehatan manusia.
4. Penggunaan pestisida pada sistem budidaya pertanian akan berdampak pada kesehatan manusia dan kesehatan lingkungan.

Peran penting bakteri tumbuhan dalam kesehatan global dalam konsep *One Health* terkait: (1) Ancaman keamanan dan ketersediaan pangan yang menurut Young *et al.* (2008) menjadi ancaman bioterorisme. Senjata biologis bukan hanya yang terkait secara langsung ke manusia tetapi bisa berupa ancaman terhadap kedaulatan pangan sebuah negara. Bioterror merujuk pada organisme yang memiliki kemampuan untuk menimbulkan kepanikan luar biasa pada masyarakat secara luas. Contoh bakteri patogen yang masuk kategori ini adalah *Candidatus Liberibacter asiaticus* di Amerika dan *Xyllela fastidiosa* di Eropa, (2) Beberapa bakteri patogen tumbuhan seperti *Pseudomonas aeruginosa* (penyebab penyakit busuk umbi bawang bombai) juga merupakan patogen pada manusia (infeksi paru-paru kronis pada penderita *cystic fibrosis*, infeksi rongga mulut, dan pelemahan sistem imun), *Rhizobium radiobacter* (penyebab penyakit *crown gall*) merupakan penyebab *catheter-related bacteremia* pada manusia, *Erwinia billingiae* penyebab penyakit hawar api pada apel menyebabkan *bacteremia* dan *cutaneous infection*, *B. glumae* penyebab penyakit busuk bulir padi merupakan penyebab *chronic granulomatous disease*, dan beberapa *Enterobacteriaceae* yang lain juga sebagai patogen penting pada manusia (Kirzinger *et al.*, 2011; Kim *et al.*, 2020), (3) Beberapa bakteri patogen manusia sering kali berasosiasi dengan tanaman, seperti *L. monocytogenes*, *S. enteritica*, dan *E. coli* yang dapat menjadi kontaminan pada makanan dan produk pertanian. Joko *et al.*

(2014) melaporkan bahwa beberapa bakteri patogen manusia seperti *Enterobacter*, *Citrobacter*, *Serratia*, dan *Klebsiella* berhasil diisolasi dari tanaman anggrek yang menunjukkan gejala penyakit busuk lunak, (4) *Antimicrobial resistance* (AMR) pada bakteri patogen manusia di ekosistem pertanian.

Hadirin yang saya muliakan,

Tantangan terhadap ketersediaan pangan telah menyebabkan segala daya dan upaya dilakukan termasuk penggunaan pupuk dan pestisida kimia secara berlebihan yang mengakibatkan berbagai dampak lingkungan dan kesehatan, serta menimbulkan efek resistensi dan resurgensi patogen. Pertanian berkelanjutan merupakan suatu model pertanian jangka panjang melalui praktik pertanian ramah lingkungan yang tidak menimbulkan pengaruh negatif pada lingkungan dan ekosistem pertanian. Penggunaan pestisida kimia (termasuk insektisida, fungisida, bakterisida, herbisida) yang dapat membunuh mikroorganisme non-target perlu dibatasi, sebagai gantinya peran musuh alami perlu ditingkatkan melalui introduksi ke dalam ekosistem pertanian. Penggunaan dan introduksi bakteri sebagai *plant growth promoting bacteria* (PGPB) dan APH unggul akan berhasil jika pengelolaannya sudah dipahami dengan benar. Interaksi bakteri dan tanaman sudah mengalami evolusi menuju terciptanya keseimbangan keduanya dalam mendapatkan manfaat dari interaksi tersebut (Joko *et al.*, 2012).

Bakteri yang termasuk dalam kategori PGPB yang berperan dalam membantu penyerapan nutrisi yang dibutuhkan tanaman, membantu pertumbuhan, dan meningkatkan ketahanan tanaman menjadi komponen penting dalam pertanian berkelanjutan (Hanif *et al.*, 2024). Seperti yang sudah saya sampaikan di muka bahwa bakteri dapat hidup dan mengkolonisasi tanaman pada daerah rizosfer, di dalam jaringan sebagai bakteri endofit, dan di atas permukaan tanah sebagai epifit. Akar tanaman menyekresikan sumber karbon, asam amino, asam organik, dan nutrisi lain yang menjadi daya tarik bakteri di dalam tanah untuk melakukan kolonisasi. Salah satu rizobakteri yang menjalin hubungan dengan tanaman melalui simbiosis mutualisme adalah *Rhizobium* yang dapat menambat nitrogen melalui pembentukan bintil

akar pada tanaman polong-polongan (Liu *et al.*, 2021). Simbiosis mutualisme ini memberikan manfaat yang besar bagi tanaman terutama untuk ketersediaan nitrogen dan kesuburan tanah sehingga dapat mendukung pertanian berkelanjutan (Lindström & Mousavi, 2020). Akar tanaman juga menjadi pintu masuk bagi kelompok bakteri yang hidup di dalam jaringan tanaman sebagai endofit (Kandel *et al.*, 2017). Keberadaan bakteri endofit dapat menguntungkan tanaman inang karena bakteri endofit mampu berperan sebagai PGPB yang membantu pertumbuhan tanaman, memicu respons ketahanan tanaman karena serangan patogen, dan mengurangi cekaman abiotik seperti kekeringan dan salinitas (Santos *et al.*, 2022). Bakteri endofit telah menjadi minat penelitian dan kajian dalam pertanian berkelanjutan karena perannya dalam menghasilkan senyawa antimikrobia yang dapat diaplikasikan pada berbagai patogen dan hama tanaman di samping potensinya untuk meningkatkan hasil tanaman dengan mengurangi penggunaan pupuk kimia (Qadir *et al.*, 2024).

Bakteri epifit merupakan kelompok bakteri yang hidup mendiami permukaan tanaman seperti daun dan ranting juga memiliki potensi dan peran dalam pertanian berkelanjutan. Perannya sebagai PGPB antara lain karena kemampuannya dalam menekan pertumbuhan patogen tumbuhan dan menghasilkan fitohormon seperti auksin, sitokinin, dan giberelin. Schlechter *et al.* (2019) menyatakan bahwa keberadaan bakteri epifit akan menimbulkan persaingan memperebutkan nutrisi pada habitatnya di mana bakteri patogen tanaman akan tersisih dari wilayah tersebut. Pusey *et al.* (2011) melaporkan bahwa populasi *Erwinia amylovora* berkurang drastis karena kompetisi dengan *Pantoea agglomerans*. Kolonisasi lebih awal *P. agglomerans* pada permukaan bunga apel membuat *E. amylovora* kesulitan untuk tumbuh pada tempat yang sama. Selain kompetisi ruang dan nutrisi, penekanan terhadap patogen tumbuhan melalui senyawa antimikrobia yang dihasilkan oleh bakteri epifit. Pemanfaatan rizobakteri, bakteri endofit, dan bakteri epifit yang diintegrasikan dengan teknik pengelolaan penyakit yang lain dalam sistem budidaya pertanian ramah lingkungan merupakan pendekatan pertanian berkelanjutan yang dapat mengurangi penggunaan pupuk dan pestisida sintesis.

Hadirin yang saya muliakan,

Di akhir pidato ini, izinkan saya memanjatkan puji syukur ke hadirat Allah SWT yang Maha Berilmu atas segala limpahan rahmat dan karunia-Nya memberikan setitik ilmu kepada saya sehingga saya diamanahi jabatan terhormat sebagai Guru Besar bidang Bakteriologi Tumbuhan.

Dalam kesempatan yang berbahagia ini, saya mengucapkan terima kasih kepada Pemerintah Republik Indonesia dalam hal ini Menteri Pendidikan Tinggi, Sains, dan Teknologi, yang telah memberikan kepercayaan kepada saya untuk menjabat sebagai Guru Besar dalam bidang Bakteriologi Tumbuhan di Fakultas Pertanian Universitas Gadjah Mada. Saya juga menyampaikan terima kasih kepada Rektor, Senat Akademik, Dekan dan Wakil Dekan, dan Senat Fakultas Pertanian, serta Departemen Hama dan Penyakit Tumbuhan yang telah memberikan kesempatan, dukungan dan persetujuan terhadap usulan Guru Besar saya. Terima kasih juga kepada Prof. Dr. Ir. Siti Subandiyah, M.Agr.Sc. dan Prof. Ir. Triwibowo Yuwono, Ph.D. atas ulasan yang telah dilakukan untuk perbaikan pidato pengukuhan saya ini. Ucapan terima kasih dan penghargaan saya sampaikan kepada Prof. Dr. Suadi, S.Pi., M.Agr.Sc., Dr. R.A. Siti Ari Budhiyanti, S.T.P., M.P., Ibu Kenok, Bpk. Sunaryanta, dan Mas Axel atas kerja keras dan dukungannya dalam memproses usulan Guru Besar saya.

Ucapan terima kasih yang mendalam saya haturkan kepada yang tercinta ibunda dan ayahanda saya, Ibu Hj. Sri Indiyah dan almarhum Bapak Achmad Saeri, yang telah melahirkan, membesarkan, mengasuh dan mendidik saya dengan penuh kasih sayang, semoga menjadi amal jariyah. Ucapan terima kasih juga saya ucapkan kepada ibu mertua saya, almarhumah Ibu Sumarmi dan bapak mertua saya, Bapak Biran atas dukungan, doa, dan bimbingannya. Terima kasih juga saya sampaikan kepada istri tercinta, Palupi Murnaningsih, S.P., M.Sc., anak kami Inayati Sayyidah Ramadhani, Nurizzati Pramodhawardhani, dan Muhammad Haikal Sulthan atas pengertian, pengorbanan, kesabaran dan kebersamaannya dalam keluarga. Terima kasih juga kepada kakak saya Tabah Widodo, S.Tr.Kes beserta keluarga, Dwi Jumeiharto, S.Tr.Kes beserta keluarga, dan adik saya almarhumah Diah Sulistiawati, S.E.; serta kakak ipar saya Anik Rahmawati, S.T., M.Pd. beserta

keluarga, Mugyana, S.E. beserta keluarga, dan adik ipar saya Dr. Sri Martina Wiraswati, S.P., M.Si. beserta keluarga atas kebersamaan, suasana kekeluargaan dan saling membantu. Semoga semua kebaikan tersebut menjadi amal jariyah dan mendapatkan balasan yang jauh lebih banyak dari Allah SWT.

Ucapan terima kasih juga saya sampaikan kepada guru-guru saya di SDN 53 Jambi, SMPN 8 Jambi, dan SMAN 1 Jambi. Kepada para dosen kami di Fakultas Pertanian UGM khususnya dosen-dosen di Departemen Hama dan Penyakit Tumbuhan (HPT), saya ucapkan terima kasih atas segala ilmu dan bimbingan selama saya menempuh pendidikan S1 serta suasana kerja yang nyaman dan menyenangkan. Ucapan terima kasih secara khusus saya sampaikan kepada almarhum Prof. Dr. Ir. Rachman Sutanto, M.Sc. (sebagai dosen pembimbing akademik sebelum penjurusan), almarhum Ir. Toekidjo Martoredjo, M.Sc. (sebagai dosen pembimbing akademik S1 sebelum skripsi), Prof. Dr. Ir. Siti Subandiyah, M.Agr.Sc. (sebagai dosen pembimbing skripsi), dan almarhumah Ir. Y.M.S. Maryudani, S.U. (sebagai dosen pembimbing pendamping skripsi). Prof. Siti Subandiyah sangat berjasa mengenalkan dan membuat saya tertarik mempelajari bakteriologi tumbuhan. Saya juga mengucapkan terima kasih secara khusus kepada Prof. Dr. Shinji Tsuyumu (sebagai dosen pembimbing S2 dan S3 di *Shizuoka University*) yang dengan penuh disiplin membimbing saya selama 5,5 tahun di Jepang, Prof. Dr. Mitsuro Hyakumachi (*Gifu University*), Prof. Dr. Yuichi Takikawa (*Shizuoka University*), Prof. Dr. Hisae Hirata (*Shizuoka University*) yang telah memberikan bimbingan dalam menuntut ilmu, melakukan penelitian, kerja sama dan berkarir. Terima kasih juga kepada Prof. Dr. Naoto Ogawa (*Shizuoka University*) dan Honour C. McCann, Ph.D. (*Max-Planck Institute for Biology*, Jerman) atas kerja sama penelitian dan *joint supervision* mahasiswa S3. Terima kasih dan penghargaan saya kepada *INPEX Foundation* dan *The Hitachi Scholarship Foundation* atas beasiswa dan dukungannya dalam penyelesaian studi S2-S3 di Jepang.

Saya ucapkan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada Prof. Dr. Ir. Susanto Somowiyarjo, M.Sc. yang telah memberikan kesempatan menjadi asisten dan belajar bekerja dari beliau sebelum saya melanjutkan studi pascasarjana dan sampai saat ini masih terus

memberikan dukungan dan motivasi kepada saya. Terima kasih juga kepada Prof. Dr. Ir. Y. Andi Trisyono, M.Sc. (Ketua Jurusan HPT 2007–2011) yang telah bersedia menerima saya menjadi dosen di Departemen HPT, juga kepada Prof. Dr. Ir. Mulyadi, M.Sc. dan Prof. Dr. Ir. Christanti, S.U. sebagai penguji yang sudah meloloskan saya sebagai dosen HPT.

Terima kasih secara khusus juga saya sampaikan kepada Prof. Dr. Ir. Witjaksono, M.Sc., Prof. Dr. Ir. Siwi Indarti, M.P., dan Dr. Alan Soffan, S.P., M.Sc. atas kerja sama dan kebersamaannya dalam mengelola Departemen HPT, Fakultas Pertanian UGM periode tahun 2016–2021 dan 2021–2026, serta seluruh dosen dan tenaga kependidikan atas kehangatan dan situasi yang sangat kondusif di Departemen HPT. Penghargaan yang tinggi saya sampaikan kepada Guru Besar senior Fitopatologi di Departemen HPT yang ikut membina saya: almarhum Prof. Dr. Ir. Haryono Semangun, almarhum Prof. Dr. Ir. J.B. Sumardiyono, Prof. Dr. Ir. Nursamsi Pusposendjojo, M.Sc., dan Prof. Dr. Ir. Bambang Hadisutrisno, DAA.

Kepada seluruh panitia pengukuhan yang dikoordinasi oleh Prof. Dr. Siwi Indarti, M.P., terima kasih yang sebesar-besarnya telah bekerja keras mempersiapkan seluruh rangkaian acara pengukuhan Guru Besar ini. Ucapan terima kasih tak terhingga saya sampaikan kepada sivitas akademika di Fakultas Pertanian UGM: para dosen, tenaga kependidikan, para mahasiswa dan alumni yang membanggakan atas segala kerja sama dan dukungan selama ini dalam kegiatan belajar mengajar di Fakultas Pertanian UGM. Kepada Bapak dan Ibu yang saya muliakan dan saya hormati, terima kasih sebesar-besarnya atas kehadiran dan kesabarannya dalam mengikuti pidato pengukuhan ini. Mohon maaf atas segala kekurangan dan kekhilafan.

Alhamdulillah rabbil ‘aalamin

Wabillahi taufiq wal hidayah

Wassalamu’alaikum warahmatullahi wabarakatuh

DAFTAR PUSTAKA

- Agrios, G. N. (2005). Plant Pathology. Fifth Edition. USA : Elsevier Academic Press. 922 p.
- Ali, M. A., Ahmed, T., Ibrahim, E., Rizwan, M., Chong, K. P., & Yong, J. W. H. (2024). A review on mechanisms and prospects of endophytic bacteria in biocontrol of plant pathogenic fungi and their plant growth-promoting activities. *Heliyon*.(10). <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2024.e31573>.
- Alina, S. O., Constantinescu F., & Petruta, C. C. (2015). Biodiversity of *Bacillus subtilis* group and beneficial traits of *Bacillus* species useful in plant protection. *Romanian Biotechnological Letters* 20(5): 10737–10750.
- Andrivon, D., Montarry, J., & Fournet, S. (2022). Plant health in a one health world: missing links and hidden treasures. *Plant Pathology*, 71(1). <https://doi.org/10.1111/ppa.13463>.
- Arkhipova, T. N., Veselov, S. U., Melentiev, A. I., Martynenko, E. V., & Kudoyarova, G. R. (2005). Ability of bacterium *Bacillus subtilis* to produce cytokinins and to influence the growth and endogenous hormone content of lettuce plants. *Plant Soil* 272: 201–209. <https://doi.org/10.1007/s11104-004-5047-x>
- Athukorala, S. N. P., Fernando, W. G. D., & Rashid, K. Y. R. (2009). Identification of antifungal antibiotics of *Bacillus* species isolated from different microhabitats using polymerase chain reaction and MALDI-TOF mass spectrometry. *Canadian Journal Microbiology* 55: 1021–1032. <https://doi.org/10.1139/W09-0677>.
- Kartika, A. D. (2021). Deteksi molekuler *Ralstonia syzygii* subsp. *syzygii* penyebab penyakit Sumatra pada serangga vektor *Hindola striata*. Skripsi, Fakultas Pertanian UGM.
- Barak, J. D., Kramer, L. C., & Hao, L. Y. (2011). Colonization of tomato plants by *Salmonella enterica* is cultivar dependent, and type 1 trichomes are preferred colonization sites. *Applied and environmental microbiology* 77(2): 498–504. <https://doi.org/10.1128/AEM.01661-10>.
- Boelaert, F., Stoicescu, A., Amore, G., Messens, W., Hempen, M., Rizzi, V., Antoniou, S. E., Baldinelli, F., Dorbek-Kolin, E., Van Der Stede, Y., Niskanen, T., Haussig, J., Kaczmarek, M., Dias, J.

- G., Barco, L., Mancin, M., Mantovani, C., Sardella, A., Antonelli, P., Leati, M., Lettini, A. A., Losasso, C., Morabito, S., Scavia, G., Knijn, A., Tozzoli, R., Iacoponi, F., Moro, O., D'Errico, M. L., Gattuso, A., Suffredini, E., Di Bartolo, I., Delibato, E., Anniballi, F., Ianiro, G., Altieri, I., Morales, M. A. G., Casulli, A., Caccio, S., Danan, C., & Felix, B. (2021). European Food Safety Authority, European Centre for Disease Prevention and Control. The European Union One Health 2019 Zoonoses Report. *EFSA Journal*, 19(2), 286. <https://doi.org/10.2903/j.efsa.2021.6406>.
- Bonaterra, A., Badosa, E., Daranas, N., Francés, J., Roselló, G., & Montesinos, E. (2022). Bacteria as biological control agents of plant diseases. *Microorganisms*, 10(9), 1759. <https://doi.org/10.3390/microorganisms10091759>.
- Byappanahalli, M. N. & Fujioka, R. S. (1998). Evidence that tropical soil environment can support the growth of *Escherichia coli*. *Water Science and Technology*, 38(12), 171–174. [https://doi.org/10.1016/S0273-1223\(98\)00820-8](https://doi.org/10.1016/S0273-1223(98)00820-8).
- Compant, S., Samad, A., Faist, H., & Sessitsch, A. (2019). A review on the plant microbiome: ecology, functions, and emerging trends in microbial application. *Journal of advanced research* 19: 29–37. <https://doi.org/10.1016/j.jare.2019.03.004>.
- da Costa, G. V., Neves, C. S. V. J., Bassanezi, R. B., Junior, R. P. L., & Telles, T. S. (2021). Economic impact of huanglongbing on orange production. *Rev. Bras. Frutic* 43. <https://doi.org/10.1590/0100-29452021472>.
- Dala-Paula, B. M., Plotto, A., Bai, J., Manthey, J. A., Baldwin, E. A., Ferrarezi, R. S., & Gloria, M. B. A. (2019). Effect of huanglongbing or greening disease on orange juice quality, a review. *Frontiers in plant science*, 9, 1976. <https://doi.org/10.3389/fpls.2018.01976>.
- Das, A. (2019). The origin of life on earth-viruses and microbes. *Acta Scientific Microbiology*, 2(2), 22–28. <https://doi.org/10.3844/ajisp.2017.194.200>.
- Döring, T. F., Pautasso, M., Finckh, M. R., & Wolfe, M. S. (2012). Concepts of plant health—reviewing and challenging the

- foundations of plant protection. *Plant Pathology* 61(1): 1–15.
<https://doi.org/10.1111/j.1365-3059.2011.02501.x>.
- Dupuis, B., Nkuriyingoma, P., Van Gijsegem, F. (2021). Economic impact of *Pectobacterium* and *Dickeya* species on potato crops: A review and case study. In: Van Gijsegem, F., van der Wolf, J.M., Toth, I.K. (eds) *Plant diseases caused by Dickeya and Pectobacterium species*. Springer, Cham.
https://doi.org/10.1007/978-3-030-61459-1_8
- EPPO (European and Mediterranean Plant Protection Organization). (2018). *Xylella fastidiosa*. PM 7/24(3). EPPO Bulletin, 40: 175–218.
- FAO (2025). International Day of Plant Health, 12 May | Food and Agriculture Organization of the United Nations. Diakses pada tanggal 8 Juni 2025.
- Flemming, H. C. & Wuertz, S. (2019). Bacteria and archaea on earth and their abundance in biofilms. *Nat Rev Microbiol* 17: 247–260 (2019). <https://doi.org/10.1038/s41579-019-0158-9>
- Gaffar, M. 2023. Asam bongkrek, toksin bakteri dari tempe bongkrek. *Nutrition Scientific Journal* 2(1): 73–80.
<https://doi.org/10.37058/nsj.v2i1.7486>.
- Garcia, S. N., Osburn, B.I., & Jay-Russell, M. T. (2020). One health for food safety, food security, and sustainable food production. *Front. Sustain. Food Syst* 4:1 <https://doi.org/10.3389/fsufs.2020.00001>.
- Goto, M. (1992). *Fundamentals of bacterial plant pathology*. San Diego: Academic Press. 342 p.
- Glick, B. R. (2012). Plant growth-promoting bacteria: mechanisms and applications. *Scientifica* 2012: 963401.
<https://doi.org/10.6064/2012/963401>.
- Grichko, V. P. & Glick, B. R. (2001). Amelioration of flooding stress by ACC deaminase-containing plant growth-promoting bacteria. *Plant Physiology and Biochemistry* 39(1), 11–17.
<https://doi.org/10.1139/cjm-46-12-1159>.
- Gu, Q., Yang, Y., Yuan, Q., Shi, G., Wu, L., Lou, Z., Hou, R., Wu, H., Borris, R., & Gao, X. (2017). Bacillomycin D produced by *Bacillus amyloliquefaciens* is involved in the antagonistic

- interaction with the plant-pathogenic fungus *Fusarium graminearum*. Applied and Environmental Microbiology 83(9): 1–17. <https://doi.org/10.1128/AEM.01075-17>.
- Gupta, R. & Chakrabarty, S. K. (2013). Gibberellic acid in plant: still a mystery unresolved. Plant signaling & behavior, 8(9), e25504. <https://doi.org/10.4161/psb.25504>.
- Han, D., Chen, J., Chen, W., & Wang, Y. (2023). Bongkreikic acid and *Burkholderia gladioli* pathovar *cocovenenans*: Formidable foe and ascending threat to food safety. Foods, 12(21), 3926. <https://doi.org/10.3390/foods12213926>
- Hanif, A., Zhang, F., Li, P., Li, C., Xu, Y., Zubair, M., Zhang, M., Jia, D., Zhao, X., Liang, J., Majid, T., Yan, J., Farzand, A., Wu, H., Gu, Q., & Gao, X. (2019). Fengycin produced by *Bacillus amyloliquefaciens* FZB42 inhibits *Fusarium graminearum* growth and mycotoxins biosynthesis. Toxins 22(295): 1–11. <https://doi.org/10.3390/toxins11050295>.
- Hanif, M. S., Tayyab, M., Baillo, E.H., Islam, M.M., Islam, W., & Li, X. (2024) Plant microbiome technology for sustainable agriculture. Front. Microbiol. 15:1500260. doi: 10.3389/fmicb.2024.1500260.
- Hilborn E. D., Mermin J. H., Mshar P. A., Hadler J. L., Voetsch A., Wojtkunski C., et al. (1999). A multistate outbreak of *Escherichia coli* O157:H7 infections associated with consumption of mesclun lettuce. Arch. Intern. Med. 159: 1758–1764. <https://doi.org/10.1001/archinte.159.15.1758>.
- Jackson, K. A., Gould, L. H., Hunter, J. C., Kucerova, Z., & Jackson, B. (2018). Listeriosis outbreaks associated with soft cheeses, United States, 1998–2014. Emerging infectious diseases, 24(6), 1116. <https://doi.org/10.3201/eid2406.171051>.
- Jayanti, R. M., Marisna, I., Abdullah, J. T., Suryanti & Joko, T. (2025). Bioprospecting of plant-beneficial *Bacillus* species for growth promotion and disease suppression. Tropical Life Sciences Research. In Press. <https://doi.org/10.21315/>.
- Joko, T., H. Hirata, & S. Tsuyumu. 2007. Sugar transporter (MfsX) of major facilitator superfamily is required for flagella-mediated pathogenesis in *Dickeya dadantii* 3937. Journal of General Plant

- Pathology 73: 266–273. <https://doi.org/10.1007/s10327-007-0018-8>.
- Joko, T., Koentjoro, M. P., Somowiyarjo, S., Rohman, M. S., Liana, A., & Ogawa, N. (2012). Response of rhizobacterial communities in watermelon to infection with cucumber green mottle mosaic virus as revealed by cultivation-dependent RISA. *Archives of Phytopathology and Plant Protection* 45: 1810–1818. <https://doi.org/10.1080/03235408.2012.707526>.
- Joko, T., Subandi, A., Kusumandari, N., Wibowo, A., & A. Priyatmojo. (2014). Activities of plant cell wall-degrading enzymes by bacterial soft rot of orchid. *Archives of Phytopathology and Plant Protection* 47: 1239–1250. <https://doi.org/10.1080/03235408.2013.838374>.
- Joko, T. 2017. *Burkholderia glumae* sebagai *emerging pathogen*: status, potensi kerusakan, dan strategi pengendalian. Prosiding Simposium Nasional Fitopatologi, Bogor. Pp. 27–35.
- Joko, T., Umehara, M., Murata, T., Etoh, H., Izumori, K., & Tsuyumu, S. (2018). Hyperinduction of pectate lyase in *Dickeya chrysanthemi* EC16 by plant-derived Sugars. *Journal of Plant Interactions* 13: 141–150. <https://doi.org/10.1080/17429145.2018.1444206>.
- Joko, T., Yuantomoputro, A. P., Indrawati, R., Soffan, A., & Subandiyah, S. (2023). Field and laboratory detection of clove sumatra disease caused by *Ralstonia syzygii* subsp. *syzygii* in Java, Indonesia. *Pertanika Journal of Tropical Agricultural Science* 46(3): 799–813. <https://doi.org/10.47836/pjtas.46.3.05>.
- Kado, C.I. (2010) *Plant bacteriology*. APS Press, St. Paul, 336 p.
- Kandel, S. L., Joubert, P. M., & Doty, S. L. (2017). Bacterial endophyte colonization and distribution within plants. *Microorganisms*, 5(4):77. <https://doi.org/10.3390/microorganisms5040077>.
- Kannan, V. R., Bastas, K. K., & Devi, R. (2015). Scientific and economic impact of plant pathogenic bacteria. *Sustainable approaches to controlling plant pathogenic bacteria* 369–392. <https://doi.org/10.1201/b18892-21>.

- Kim, J. S., Yoon, S. J., Park, Y. J., Kim, S. Y., & Ryu, C. M. (2020). Crossing the kingdom border: Human diseases caused by plant pathogens. *Environmental microbiology* 22(7): 2485–2495. <https://doi.org/10.1111/1462-2920.15028>.
- Kirzinger, M. W., Nadarasah, G., & Stavrinides, J. (2011). Insights into cross-kingdom plant pathogenic bacteria. *Genes* 2(4): 980–997. <https://doi.org/10.3390/genes2040980>.
- Koch, K. (2022). Life history and ecology of bacteria. *Clin Microbiol.* 11(4): 278.
- Köhl, J., Kolnaar, R., & Ravensberg, W. J. (2019). Mode of action of microbial biological control agents against plant diseases: relevance beyond efficacy. *Frontiers in plant science*, 10, 845. <https://doi.org/10.3389/fpls.2019.00845>.
- Lee, J., Kim, S., Jung, H., Koo, B. K., Han, J. A., & Lee, H. S. (2023). Exploiting bacterial genera as biocontrol agents: Mechanisms, interactions and applications in sustainable agriculture. *Journal of Plant Biology*, 66(6), 485–498. <https://doi.org/10.1007/s12374-023-09404-6>.
- Lindström, K., & Mousavi, S. A. (2020). Effectiveness of nitrogen fixation in rhizobia. *Microbial biotechnology*, 13(5), 1314–1335. <https://doi.org/10.1111/1751-7915.13517>.
- Liu, Y., Ma, B., Chen, W., Schlaeppli, K., Erb, M., Stirling, E., et al. (2021). Rhizobium symbiotic capacity shapes root-associated microbiomes in soybean. *Front. Microbiol.* 12:709012. <https://doi.org/10.3389/fmicb.2021.709012>.
- Lorenzini, G. & Nali, C. (2025). Plant protection, the Cinderella of the one health strategy?. *One Health*, 101080. <https://doi.org/10.1016/j.onehlt.2025.101080>.
- Matereke, L. T. & Okoh, A. I. (2020). *Listeria monocytogenes* virulence, antimicrobial resistance and environmental persistence: A review. *Pathogens* 9(7), 528. <https://doi.org/10.3390/pathogens9070528>.
- Mayak, S., Tirosh, T., & Glick, B. R. (2004). Plant growth-promoting bacteria confer resistance in tomato plants to salt stress. *Plant physiology and biochemistry* 42(6): 565–572. <https://doi.org/10.1016/j.plaphy.2004.05.009>.

- Melotto, M., Zhang, L., Oblessuc, P. R., He, S. Y. (2017). stomatal defense a decade later. *Plant Physiology* 174(2): 561–571, <https://doi.org/10.1104/pp.16.01853>.
- Nautiyal, C. S., Rehman, A., & Chauhan, P. S. (2010). Environmental *Escherichia coli* occur as natural plant growth-promoting soil bacterium. *Archives of Microbiology* 192(3): 185–193. <https://doi.org/10.1007/s00203-010-0544-1>.
- Olanrewaju, O. S., Glick, B. R., & Babalola, O. O. (2017). Mechanism of action of plant growth promoting bacteria. *World Journal Microbiology and Biotechnology* 33: 197. <https://doi.org/10.5114/aoms.2011.20602>.
- Pieterse, C. M., Zamioudis, C., Berendsen, R. L., Weller, D. M., Van Wees, S. C., & Bakker, P. A. (2014). Induced systemic resistance by beneficial microbes. *Annual review of phytopathology*, 52, 347–375. <https://doi.org/10.1146/annurev-phyto-082712102340>.
- Phiri, T. M., Bhattarai, G., Chiwina, K. E., Fan, Q., Xiong, H., Alatawi, I., ... & Shi, A. (2024). An evaluation of bacterial wilt (*Ralstonia solanacearum*) resistance in a set of tomato germplasm from the United States Department of Agriculture. *Agronomy*, 14(2), 350. <https://doi.org/10.3390/agronomy14020350>.
- Pusey, P.L., Stockwell, V.O., Reardon, C.L., Smits, T. H. M., Duffy, B. (2011). Antibiosis activity of *Pantoea agglomerans* biocontrol strain E325 against *Erwinia amylovora* on apple flower stigmas. *Phytopathology* 101(10): 1234–1241. <https://doi.org/10.1094/phyto-09-10-0253>.
- Qadir, M., Iqbal, A., Hussain, A., Hussain, A., Shah, F., Yun, B.-W., & Mun, B.-G. (2024). Exploring Plant–Bacterial Symbiosis for Eco-Friendly Agriculture and Enhanced Resilience. *International Journal of Molecular Sciences*, 25(22), 12198. <https://doi.org/10.3390/ijms252212198>.
- Raafat, M. M., Ali-Tammam, M., & Ali, A. E. (2019). Quorum quenching activity of *Bacillus cereus* isolate 30b confers antipathogenic effects in *Pseudomonas aeruginosa*. *Infection and drug resistance*, 12, 1583–1596. <https://doi.org/10.2147/IDR.S182889>.

- Raddadi, N., Cherif, A., Boudabous, A., & Daffonchio, D. (2008). Screening of plant growth promoting traits of *Bacillus thuringiensis*. *Annals of Microbiology* 58(1): 47–52. <https://doi.org/10.1007/BF03179444>.
- Rapicavoli, J., Ingel, B., Blanco-Ulate, B., Cantu, D. and Roper, C. (2018). *Xylella fastidiosa*: an examination of a re-emerging plant pathogen†. *Molecular Plant Pathology* 19: 786–800. <https://doi.org/10.1111/mpp.12585>.
- Reifschneider, F. J. B., Lopes, C. A., Rossato, M., Moya-Elizondo, E. A., Sand, D., Lindow, S. E., & Vanneste, J. L. (2020). The plant health, a view from the plant bacteriology. Faculty of Agronomy, Universidad de Concepción.
- Riseh, R. S., Fathi, F., Vazvani, M. G., & Tarkka, M. T. (2025). Plant colonization by biocontrol bacteria and improved plant health: A review. *Frontiers in Bioscience-Landmark* 30(1): 23223. <https://doi.org/10.31083/FBL23223>.
- Roper M. C. (2011). *Pantoea stewartii* subsp. *stewartii*: lessons learned from a xylem-dwelling pathogen of sweet corn. *Molecular plant pathology* 12(7): 628–637. <https://doi.org/10.1111/j.13643703.2010.00698.x>
- Shaharoon, B., Muhammad, A., Rashid, W., & Khalid, A. (2012). Role of ethylene and plant growth-promoting rhizobacteria in stressed crop plants, crop stress and its management: Perspectives and Strategies. Pp 429–446, Venkateswarlu, B. et al. (Eds) Springer Science Business Media, BV.
- Santos, R. M. D., Desoignies, N., & Rigobelo, E. C. (2022). The bacterial world inside the plant. *Frontiers in Sustainable Food Systems*, 6, 830198. <https://doi.org/10.3389/fsufs.2022.830198>.
- Scholthof, K. B. G. (2024). The greening of one health: plants, pathogens, and the environment. *Annual review of phytopathology*, 62. <https://doi.org/10.1146/annurev-phyto-121423-042102>.
- Schlechter, R.O., Miebach, M., Remus-Emsermann, M.N.P. (2019). Driving factors of epiphytic bacterial communities: A review. *Journal of Advanced Research* 19: 57–65. <https://doi.org/10.1016/j.jare.2019.03.003>.

- Smith, E. F. & Townsend, C. O. (1907). A plant-tumor of bacterial origin. *Science* 25(643): 671–673.
<https://doi.org/10.1126/science.25.643.671>
- Souza, R., Ambrosini, A., & Passaglia, L. M. P. (2015). Plant growth-promoting bacteria as inoculants in agricultural soils. *Genetics and Molecular Biology*, 38(4): 401–419.
<https://doi.org/10.1590/S1415-475738420150053>.
- Suleman, M., Yasmin, S., Rasul, M., Atta, B. M., & Mirza, M. S. (2018). Phosphate solubilizing bacteria with glucose dehydrogenase gene for phosphorus uptake and beneficial effects on wheat. *PLoS ONE* 13(9): e0204408.
<https://doi.org/10.1371/journal.pone.0204408>.
- Szymczak, B., Szymczak, M., Sawicki, W., & Dąbrowski, W. (2014). Anthropogenic impact on the presence of *L. monocytogenes* in soil, fruits, and vegetables. *Folia Microbiologica* 59: 23–29.
<https://doi.org/10.1007/s12223-013-0260-8>.
- Trianom, B., Arwiyanto, T., & Joko, T. (2018). Development of novel subspecies-specific primers based on the endoglucanase gene for detection of *Ralstonia syzygii* subsp. *syzygii*. *Jurnal Perlindungan Tanaman Indonesia*, 22(2), 124–131.
<https://doi.org/10.22146/jpti.32217>
- Trianom, B., Arwiyanto, T., & Joko, T. (2019). Morphological and molecular characterization of Sumatra disease of clove in Central Java, Indonesia. *Tropical Life Sciences Research*, 30(2), 1–13.
<https://doi.org/10.21315/tlsr2019.30.2.8>.
- Truong, H. N., Garmyn, D., Gal, L., Fournier, C., Sevellec, Y., Jeandroz, S., & Piveteau, P. (2021). Plants as a realized niche for *Listeria monocytogenes*. *Microbiology Open* 10: e1255.
<https://doi.org/10.1002/mbo3.1255>.
- van Loon, L. C., & Glick, B. R. (2004). Increased plant fitness by rhizobacteria. In H. Sandermann (Ed.), *Molecular Ecotoxicology of Plants* (pp. 177-205). (Ecological Studies; No. 170). Springer
- Venkova, T., Yeo, C. C., & Espinosa, M. (2018). The good, the bad, and the ugly: multiple roles of bacteria in human life. *Frontiers in*

- Microbiology, 9, 1702.
<https://doi.org/10.3389/fmicb.2018.01702>.
- Wang, T., Wu, Y., Li, W., Fu, P., Li, H., Li, N., ... & Guo, Y. (2024). Diarrheagenic *Escherichia coli* outbreak reporting to foodborne disease outbreaks surveillance system - China, 2011–2022. China CDC Weekly 6(51): 1370.
<https://doi.org/10.46234/ccdcw2024.272>.
- Wells, J. M., Raju, B. C., Hung, H. -Y., Weisburg, W. G., Mandelco-Paul, L. & Brenner, D. J. (1987). *Xylella fastidiosa* gen. nov., sp. nov: Gram-negative, xylem-limited, fastidious plant bacteria related to *Xanthomonas* spp. International Journal of Systematic Bacteriology, 37: 136–143. <https://doi.org/10.1099/00207713-37-2-136>.
- Young, J. M., Allen, C., Coutinho, T., Denny, T., Elphinstone, J., Fegan, M., Gillings, M., Gottwald, T. R., Graham, J. H., Iacobellis, N. S., Janse, J. D., Jacques, M.-A., Lopez, M. M., Morris, C. E., Parkinson, N., Prior, P., Pruvost, O., Rodrigues Neto, J., Scortichini, M., Takikawa, Y., and Upper, C. D. 2008. Plant-pathogenic bacteria as biological weapons – Real threats? Phytopathology 98: 1060-1065. <https://doi.org/10.1094/PHYTO-98-10-1060>.
- Yuan, J., Zhang, W., Dang, L., Song, Y., Yin, Z., He, Z., Xu, K., Guo, P., & Yin, H. (2025). *Niallia tiangongensis* sp. nov., isolated from the China Space Station. International journal of systematic and evolutionary microbiology, 75(3), 10.1099/ijsem.0.006693. <https://doi.org/10.1099/ijsem.0.006693>.
- Yun-feng, Y., Qi-qin, L., Gang, F., Gao-qing, Y., Jian-hua, M., & Wei, L. (2012). Identification of antifungal substance (iturin A2) produced by *Bacillus subtilis* b47 and its effect on southern corn leaf blight. Journal of Integrative Agriculture 11(1): 90–99. [https://doi.org/10.1016/S1671-2927\(12\)60786-X](https://doi.org/10.1016/S1671-2927(12)60786-X).
- Zhao, A., Sun, J., & Liu, Y. (2023). Understanding bacterial biofilms: From definition to treatment strategies. Frontiers in cellular and infection microbiology, 13, 1137947. <https://doi.org/10.3389/fcimb.2023.1137947>.