



FORUM GURU BESAR
INSTITUT TEKNOLOGI BANDUNG



Orasi ilmiah Guru Besar Institut Teknologi Bandung



MENGUPAS PASCAPANEN BUAH PISANG DARI SUDUT PANDANG BIOLOGI MOLEKULER

Profesor Fenny Martha Dwivany
Sekolah Ilmu dan Teknologi Hayati
Institut Teknologi Bandung

Aula Barat ITB
22 Juli 2023

Orasi ilmiah Guru Besar
Institut Teknologi Bandung

Mengupas Pascapanen Buah Pisang dari Sudut Pandang Biologi Molekuler

Orasi ilmiah Guru Besar
Institut Teknologi Bandung

Mengupas Pascapanen Buah Pisang dari Sudut Pandang Biologi Molekuler

Profesor Fenny Martha Dwivany

22 Juli 2023
Aula Barat ITB



Hak cipta © pada penulis dan dilindungi Undang-Undang

Hak penerbitan pada ITB Press

Dilarang memperbanyak sebagian atau seluruh bagian dari buku ini tanpa izin dari penerbit

Orasi ilmiah Guru Besar Institut Teknologi Bandung:

Mengupas Pascapanen Buah Pisang dari Sudut Pandang Biologi Molekuler

Penulis : Prof. Fenny Martha Dwivany

Reviewer : Prof. Ir. Ketut Wikantika, M.Eng., Ph.D.

Editor Bahasa : Rina Lestari

Cetakan I : 2023

ISBN : 978-623-297-309-1



📍 Gedung STP ITB, Lantai 1,
Jl. Ganesa No. 15F Bandung 40132
☎ +62 22 20469057
🌐 www.itbpress.id
✉ office@itbpress.id
Anggota Ikapi No. 043/JBA/92
APPTI No. 005.062.1.10.2018

PRAKATA

Segala puji dan syukur kami panjatkan kehadirat Allah Swt. yang telah melimpahkan rahmat dan hidayah-Nya sehingga perjalanan tridarma di Institut Teknologi Bandung yang kami lakukan selama ini dapat dituangkan dalam naskah orasi ilmiah dengan judul:

“MENGUPAS PASCAPANEN BUAH PISANG DARI SUDUT PANDANG BIOLOGI MOLEKULER”.

Naskah orasi ilmiah ini berisi sebagian dari hasil studi mengenai pematangan dan penanganan pascapanen buah dari sudut pandang Biologi Molekuler yang kami lakukan bersama The Banana Group - ITB sejak tahun 2004.

Kami mengucapkan terima kasih sebesar-besarnya kepada seluruh pihak yang telah mendukung perjalanan kami ini. Selain itu, kami ucapkan pula terima kasih sebesar-besarnya kepada Forum Guru Besar-Institut Teknologi Bandung yang memberi kesempatan menyebarluaskan hasil studi ini. Harapan kami, informasi yang telah diperoleh dapat bermanfaat bagi masyarakat dan pengembangan keilmuan.

Bandung, 22 Juli 2023

Prof. Fenny M. Dwivany, Ph.D.

SINOPSIS

Buku ini merupakan refleksi hasil perjalanan tridarma mengenai pematangan dan pascapanen buah serta mekanismenya dari sudut pandang molekuler. Bahan penulisan buku ini diambil dari berbagai hasil studi yang telah dilakukan bersama The Banana Group ITB, yaitu tim multidisiplin yang terdiri atas peneliti ITB dengan berbagai latar belakang keilmuan, serta mitra dari institusi lainnya. Isi buku diperkaya bahan-bahan yang kami tulis, baik yang telah maupun belum dipublikasikan berupa buku, artikel ilmiah di jurnal bereputasi maupun paten. Selain itu, terdapat pula rujukan dari berbagai artikel ilmiah lainnya. Dimulai dengan bab pertama, **Pendahuluan**, yang memberikan pengantar tentang hubungan pascapanen serta pisang sebagai model dalam studi pascapanen molekuler. Kemudian dilanjutkan dengan bab kedua mengenai **Teknologi Pascapanen Buah**, yang membahas apa itu proses pematangan buah dan biosintesis etilen dari sudut pandang biologi molekuler, faktor-faktor yang mempengaruhi kualitas buah pascapanen dan teknologi pascapanen serta efeknya terhadap ekspresi gen-gen target yang terlibat pada pematangan buah. Berkembangnya studi omiks dan tersedianya data genom buah, terutama buah pisang membuka kesempatan untuk mempelajari gen, profil ekspresi gen dan metabolit terkait yang dihasilkan pada pematangan buah. Rangkuman salah satu studi yang kami lakukan dijelaskan di bab ketiga, yaitu **Aplikasi Omiks dalam Pascapanen Buah**. Pada bab ini dibahas proses pematangan buah dan efek penanganan pematangan buah pisang dengan menggunakan penyalutan kitosan dalam memperpanjang umur simpan buah dari sudut pandang multi omiks. Buku ini kemudian ditutup dengan bab keempat, **Penutup** yang merupakan rangkuman naskah orasi ini.

DAFTAR ISI

PRAKATA	v
SINOPSIS.....	vii
DAFTAR ISI	ix
DAFTAR GAMBAR	x
DAFTAR TABEL	xii
1. PENDAHULUAN	1
1.1 Pisang	3
1.2 Pisang sebagai Model Studi Pascapanen Buah	5
2. TEKNOLOGI PASCAPANEN BUAH	10
2.1 Proses Pematangan Buah	10
2.2 Teknologi Pascapanen Buah	12
3. APLIKASI OMIKS PADA STUDI PASCAPANEN BUAH	23
3.1 Studi Pendahuluan	23
3.2 Aplikasi Omiks pada Studi Pascapanen Buah	26
3.3 Studi Omiks pada Pematangan Buah Pisang yang Disalut Kitosan.....	27
3.4 Potensi Buah Pisang sebagai Penghasil Lektin dan Karoten Berdasarkan Analisis Omiks	33
4. PENUTUP.....	36
5. UCAPAN TERIMA KASIH	38
DAFTAR PUSTAKA	41
CURRICULUM VITAE	49

DAFTAR GAMBAR

Gambar 1.1	Distribusi geografis spesies utama dan subspecies tetua pisang yang dikonsumsi (dimodifikasi dari De Langhe et al., 2017).	4
Gambar 1.2	Warna kulit pisang merupakan salah satu kriteria utama untuk menilai tingkat kematangan buah. (Banana ripening scale. © Don Edwards, UC Davis, Postharvest, California, USA).	6
Gambar 1.3	Lokasi sampling pada studi kekerabatan genetika 39 kultivar pisang Bali (Dwivany, dkk. 2020).	9
Gambar 1.4	Kekerabatan genetika pisang Bali berdasarkan <i>Internal Transcribed Spacer</i> (ITS)-2. A. Dendogram dibuat dengan NJ and B. Dendogram dibuat dengan NJ dengan informasi sktruktur sekunder dari software locARNA (Dwivany dkk., 2020).	9
Gambar 2.1	Biosintesis etilen pada proses pematangan buah (Dimodifikasi dari Taiz & Zeiger, 2006, <i>Banana ripening scale</i> . © Don Edwards, UC Davis, Postharvest, California, USA)	11
Gambar 2.2	Mekanisme pembungkaman kerja gen target dengan mekanisme RNAi (Limera dkk., 2017).	13
Gambar 2.4	Pembungkaman gen dengan metode RNAi. A. Struktur gen <i>ACS1</i> dan <i>ACO1</i> pisang B. Diagram plasmid pRNAiFD-ACS dan pRNAiFD-ACO untuk membungkam gen <i>ACS1</i> dan <i>ACO1</i> pisang menggunakan promotor gen yang sama (Dwivany dkk. 2018, Metode pengaturan pematangan buah pisang ambon lumut <i>Musa acuminata</i> cv Pisang Ambon Lumut, AAA Group dengan Manipulasi Gen yang Berperan. Paten Granted. IDP000051217).	14
Gambar 2.5	Hasil analisis ekspresi gen pada buah pisang yang telah ditransformasi plasmid RNAi. Ekspresi gen relatif setelah tiga hari transformasi menggunakan metode transien untuk pembungkaman gen <i>ACO1</i> menggunakan plasmid kosong (kontrol), plasmid RNAi ACO+promotor CaMV35S (pHACOfs) dan plasmid RNAi ACO+promotor ACO (pHProACOfs) (Dwivany dkk., 2018).	15
Gambar 2.6	Struktur dan Sumber Kitosan. A. Struktur Kimia Kitosan (El-banna dkk. 2019) B. Cangkang Udang Sebagai Contoh Sumber Kitosan.	17
Gambar 2.7	<i>Fruit Storage Chamber</i> (FSC) yang diberi lapisan TiO ₂ (Larasati dkk. 2021. Alat untuk memperlambat pematangan buah yang menggunakan material kimiawi pemecah etilen, Paten Granted IDS000003520)	18
Gambar 2.8	Perubahan warna dan kandungan pati buah pisang pada perlakuan TiO ₂ yang didoping Mangan (Mn) selama delapan hari pematangan buah. A. Kontrol tanpa perlakuan B. Perlakuan dalam Fruit Storage Chamber yang diberi pelapis TiO ₂ yang didoping Mangan (Mn). D 0-8 menunjukkan hari pengambilan sampel buah selama pematangan (Dwivany, dkk. 2019).	19
Gambar 2.9	Perubahan ekspresi gen <i>ACS1</i> pada perlakuan TiO ₂ yang didoping Mangan (Mn) selama delapan hari pematangan buah. A. Kontrol tanpa perlakuan B.	

Perlakuan dalam <i>Fruit Storage Chamber</i> yang diberi pelapis TiO ₂ yang didoping Mangan (Mn). D 0-8 menunjukkan hari pengambilan sampel buah selama pematangan (Dwivany, dkk. 2019)	19
Gambar 2.10 Perubahan warna dan kandungan pati buah pisang pada perlakuan komposisi gas dalam atmosfer yang berbeda. Perlakuan yang diberikan adalah komposisi atmosfer yang terdiri dari nitrogen (N ₂), oksigen (O ₂) dan karbondioksida (CO ₂) selama tujuh hari pematangan buah (Dwivany, dkk. 2012)	21
Gambar 2.11 Perubahan ekspresi gen ACS1 dan ACO1 pada perlakuan atmosfer yang diberi perlakuan perbedaan komposisi gas selama tujuh hari pematangan buah. Perlakuan yang diberikan adalah komposisi atmosfer yang terdiri dari nitrogen (N ₂), oksigen (O ₂) dan karbondioksida (CO ₂) selama tujuh hari pematangan buah (Dwivany, dkk. 2012)	21
Gambar 2.12 Efek penyimpanan pisang pada alat simulasi mikrogravitasi menggunakan 3D klinostat. A. Perubahan warna kulit buah pada empat kondisi penyimpanan B. Alat 3D klinostat yang dibuat tim ITB C-D. Perubahan ekspresi gen C. MaACS1, D. MaACS5 and, C. MaACO1. (Dwivany dkk., 2016) ..	22
Gambar 3.1 Pisang Cavendish yang diberi perlakuan nanopartikel kitosan dan kitosan dengan berbagai konsentrasi beserta kontrol selama pematangan (Lustriane dkk., 2018).	24
Gambar 3.2 Pengamatan dengan <i>Scanning Electron Microscope</i> (SEM) pada hasil pelapisan nanopartikel kitosan dan kitosan berbagai konsentrasi di permukaan kulit pisang Cavendish (Lustriane dkk., 2018).....	24
Gambar 3.3 Spektrum FTIR Nanopartikel Kitosan dan Kitosan (Lustriane dkk., 2018)	25
Gambar 3.4 Analisis tingkat ekspresi gen <i>MaACS1</i> dan <i>MaACO</i> pada buah pisang yang disalut Kitosan 1,25% dan kontrol (Lustriane dkk., 2018).....	25
Gambar 3.5 Aplikasi omiks pada studi pascapanen buah.....	27
Gambar 3.6 Perubahan ekspresi gen sebagai efek penyalutan kitosan pada buah pisang terhadap jalur -jalur metabolisme pati dan sukrosa serta asam sitrat (Dwivany dkk., 2023)	30
Gambar 3.7 Perubahan ekspresi gen sebagai efek penyalutan kitosan pada buah pisang terhadap jalur -jalur sintesis etilen (Dwivany dkk., 2023).....	31
Gambar 3.8 Perlakuan kitosan menghasilkan penumpukan metabolit ACC yang menjadi prekursor etilen (Parijadi dkk. 2022).....	31
Gambar 3.9 Skema mekanisme efek kitosan terhadap proses pematangan buah.....	33
Gambar 4.1 Produksi dan ekspor pisang di dunia (FAO, 2020)	36

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1	Fragmen gen ACS dari <i>Musa acuminata</i> cultivar pisang ambon lumut (Karmawan, dkk. 2019)	13
Tabel 3.1	Hasil uji organoleptik pada pisang Cavendish dengan perlakuan kitosan yang disimpan selama enam hari pada suhu $25\pm 1^{\circ}\text{C}$ (Lustriane dkk., 2018).....	25

1. PENDAHULUAN

Rangkaian studi pascapanen buah yang telah dilakukan berawal dari ide sederhana yang muncul ketika melihat kondisi buah pisang yang dijual oleh penjual buah keliling di sekitar rumah, penampilannya sudah tidak menarik lagi dan terlalu matang. Keprihatinan terhadap ‘nasib’ buah-buahan, petani, penjual serta kerugian yang diakibatkan kemudian menginisiasi studi pascapanen buah.

Buah merupakan bahan pangan yang mengandung serat, vitamin, mineral dan komponen esensial lainnya yang bermanfaat bagi pemenuhan nutrisi harian manusia sehingga memahami proses pematangan buah sangat penting. Kualitas buah-buahan yang segar merupakan salah satu kondisi yang penting untuk dipenuhi oleh produsen. Kriteria buah segar antara lain memiliki penampilan yang baik, produksi yang tinggi, dan tetap dalam keadaan baik selama proses distribusi untuk dipasarkan (Kader, 1989). Namun, buah-buahan merupakan salah satu komoditas agrikultur yang mudah mengalami kerusakan sehingga kesegaran buah tidak dapat bertahan lama. Kerusakan atau pematangan buah dapat dipengaruhi oleh berbagai faktor eksternal yang berkaitan langsung maupun tidak langsung dengan aktivitas gen yang berperan dalam pematangan buah. Oleh karena itu, telah banyak dikembangkan strategi untuk mencegah kerusakan komoditas buah-buahan tersebut dengan tujuan menambah usia simpan buah-buahan (Dwivany et al., 2017; Dwivany et al., 2018).

Pematangan pada buah merupakan proses yang sangat kompleks yang dipengaruhi oleh faktor biotik dan abiotik, termasuk hormon, suhu, cahaya, kadar oksigen, dan genotipe. Sejumlah perubahan terjadi saat buah mengalami proses pematangan, di antaranya buah menghasilkan aroma yang khas, menjadi lebih manis, memiliki tekstur daging buah yang lebih lembut, dan mengalami perubahan warna kulit buah dari hijau menjadi kuning atau merah. Serangkaian perubahan tersebut menjadikan buah lebih siap untuk dikonsumsi. Selain itu, pada buah berbiji, serangkaian perubahan selama proses pematangan buah merupakan strategi tanaman untuk menarik hewan agar mengonsumsi buah. Biji buah yang tidak tercerna akan dikeluarkan bersama dengan sisa pencernaan hewan kemudian tumbuh menjadi individu tanaman baru sehingga secara tidak langsung membantu proses penyebaran tanaman.

Banyak penelitian telah dilakukan untuk menemukan dan mengungkap rahasia di balik perubahan yang terjadi selama proses pematangan buah. Pada awalnya, penelitian-penelitian tersebut umumnya berfokus pada proses biosintesis dan faktor fisik, serta fisiologis yang memengaruhi proses pematangan buah. Kemudian penelitian mulai diarahkan pada analisis di tingkat sel, molekul, dan gen selama fase pertumbuhan dan perkembangan buah dengan menggunakan *Arabidopsis* sebagai tanaman model dan tomat sebagai buah model. Berkembangnya metode sekuensing genom organisme termasuk tanaman melahirkan era baru, yaitu *post genome* era. Saat ini telah berkembang pula studi berbasis data global dari mulai level gen (genomik), ekspresi gen (transkriptomik), protein (proteomik) sampai metabolit (metabolomik). Studi yang kami lakukan untuk mempelajari proses pematangan buah dari sudut pandang biologi molekuler, khususnya multi-omiks bertujuan untuk meningkatkan pemahaman bagaimana proses pematangan buah terinduksi dan bagaimana mengendalikan proses tersebut.

Pisang merupakan salah satu sumber pangan penting sebagai makanan pokok yang dikonsumsi di dunia. Selain itu, Indonesia merupakan salah satu pusat keanekaragaman pisang yang dikonsumsi, yaitu yang berasal dari persilangan pisang genom AA (*Musa acuminata*) dan BB (*Musa balbisiana*). Rendahnya nilai ekspor buah, terutama pisang yang berasal dari Indonesia, salah satunya disebabkan oleh kualitas pisang yang rendah. Kualitas yang rendah ini dipengaruhi oleh banyak faktor, baik prapanen maupun pascapanen. Pematangan buah pisang yang cepat merupakan salah satu masalah pascapanen, selain hama dan penyakit serta metode distribusi buah yang efisien. Saat ini, pemanasan global menjadikan masalah baru pada masa prapanen maupun pascapanen, karena meningkatnya suhu dapat mempercepat proses pematangan buah dan berubahnya profil organisme penyebab penyakit yang mungkin berbeda di setiap negara. Khusus untuk masalah pematangan buah, telah banyak upaya yang dilakukan untuk mengendalikannya dengan berbagai metode. Secara konvensional, biasanya buah pisang dipetik dalam keadaan matang hijau kemudian diberi perlakuan etilen sebelum dipasarkan agar buah tidak cepat membusuk. Secara modern, penghambatan pematangan buah dapat dilakukan secara fisik, antara lain dengan menggunakan ruangan penyimpanan dengan kondisi vakum, pengaturan kadar gas (O_2 , CO_2 dan etilen), penggunaan zat kimia penghambat etilen (misalnya MCP, AVG), dan silikon membran untuk pengepakan. Pada

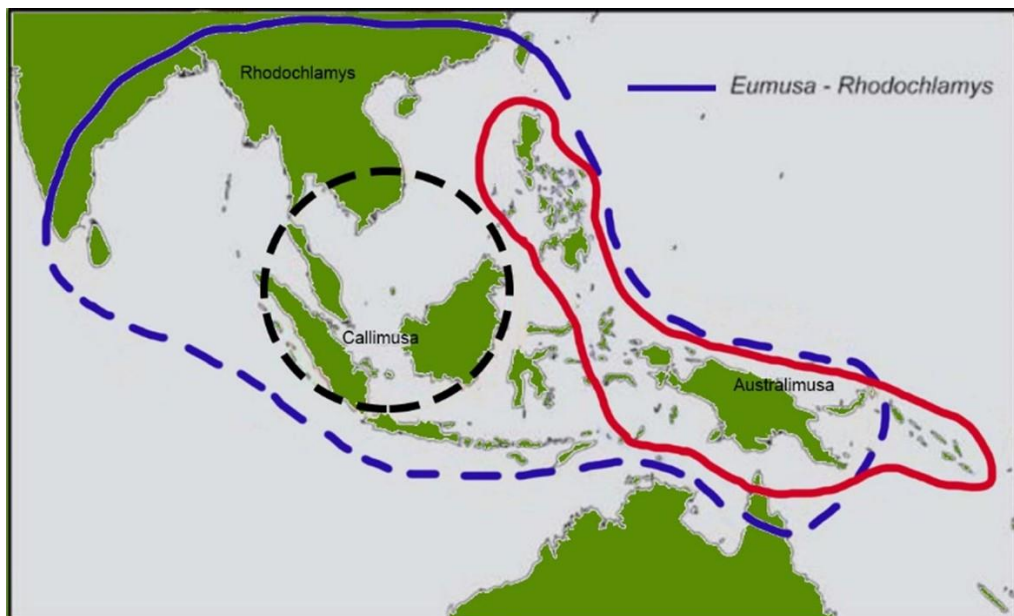
beberapa jenis buah, proses menghambat pematangan juga dilakukan dengan pengaturan suhu, yaitu dengan penyimpanan dalam ruang pendingin, namun hal ini tidak dapat dilakukan pada buah pisang karena suhu yang rendah dapat menyebabkan kerusakan fisik buah. Aplikasi masing-masing metode yang disebutkan di atas memiliki kelebihan maupun kekurangan. Negara seperti Indonesia yang merupakan negara kepulauan, memiliki kendala tersendiri dalam proses transportasi dan penyimpanan buah untuk kepentingan komersialisasi. Teknologi yang digunakan harus dapat dilakukan secara praktis oleh pengguna tanpa membutuhkan prosedur maupun peralatan yang mahal dan sulit dioperasikan. Pada studi pascapanen yang kami lakukan, buah pisang digunakan sebagai model. Oleh karena itu, klasifikasi dan distribusi pisang serta aspek pascapanen buah pisang dijelaskan pada bab pertama ini.

1.1 Pisang

Pisang telah diklasifikasikan ke dalam ordo Zingiberales, famili Musaceae dan genus *Musa* (ITIS, 2009). Domestikasi pisang pertama kali diperkirakan 4500 tahun *before present* (BP) (De Langhe dkk., 2009, Gambar 1.1). Genus *Musa* dibagi menjadi 4 bagian (*section*), yaitu *Eumusa* yang mencakup seluruh Asia Timur, kecuali Melanesia timur, *Rhodochlamys* yang tersebar di sepanjang *monsoonal mainland* dari Asia Tenggara; *Australimusa* yang terdistribusi dari Indonesia bagian tenggara dan Filipina bagian selatan ke Melanesia; serta *Callimusa* yang tersebar di Vietnam selatan, Malaysia, Kalimantan dan Sumatra (Simmonds, 1962). Semua pisang yang dapat dimakan masuk ke dalam genus *Musa* (Perrier dkk., 2011).

Mayoritas pisang yang dibudidayakan muncul dari kelompok spesies *Eumusa*. Kelompok ini merupakan kelompok terbesar dan paling banyak tersebar secara geografis, dengan spesies yang ditemukan di seluruh Asia Tenggara dari India hingga kepulauan Pasifik (Bakry dan Priyadarshan, 2009). Sebagian besar kultivar berasal dari dua spesies, yaitu *Musa acuminata* (genom A) dan *Musa balbisiana* (Genom B). Pada spesies ini, kultivar pisang yang banyak dibudidayakan adalah hibrida triploid (AAA, AAB, ABB) sementara kultivar pisang yang bersifat diploid (AA, AB, BB) dan tetraploid (AAAA, AAAB, AABB, AB BB) biasanya lebih langka. Kultivar tetraploid ini pada dasarnya adalah merupakan hasil hibrida eksperimental. Pada buah

pisang spesies *Musa* yang dibudidayakan biasanya steril atau memiliki kesuburan sangat rendah, memproduksi daging buah tanpa penyerbukan dan buah- buahan yang dihasilkan tidak memiliki benih (partenokarpi). Variabilitas genetik yang terdapat pada pisang yang dibudidayakan menghasilkan lebih dari 1000 jenis kultivar di seluruh dunia diperoleh melalui mutasi somatik (vegetatif) alami, hibridisasi, dan seleksi selama ribuan tahun (Nelson dkk., 2006).



Gambar 1.1 Distribusi geografis spesies utama dan subspecies tua pisang yang dikonsumsi (dimodifikasi dari De Langhe *et al.*, 2017).

Sebagian besar pisang diploid dan triploid yang dapat dimakan merupakan hasil persilangan intraspesifik dari *Musa acuminata* (A) dan *Musa balbisiana* (B), serta diklasifikasikan ke dalam kelompok yang mewakili baik ploidi dan komposisi spesies, yaitu AA, AAA, AAB, dan ABB (Simmonds dan Shepherd, 1955). Kultivar diploid dan triploid *M. acuminata* kemudian tersebar ke daerah *native M. balbisiana* di India, Myanmar, Thailand, Filipina; dan hasil hibridisasi alami kemudian menghasilkan keturunan hibrida dengan genom AB, AAB, dan ABB. *Musa acuminata* merupakan pisang yang sangat manis dan tidak berbiji serta paling banyak dikembangkan dibandingkan pisang genom lain. Sementara itu, *Musa balbisiana* memiliki karakter buah seperti berbiji, struktur keras, pertumbuhan cepat dan tahan kekeringan. Spesies lainnya adalah *Musa schizocarpa* (S) yang merupakan

pisang liar, berukuran besar, kulit buah berwarna hijau dengan buah berwarna putih, berukuran kecil, dan berbiji. Adapun *Musa textillis* (T) memiliki karakter berbiji halus, buahnya berwarna oranye kemerahan, seratnya halus, lembut dan berkilau sehingga sering dimanfaatkan untuk produk tekstil (Ploetz dkk., 2007).

1.2 Pisang sebagai Model Studi Pascapanen Buah

Pisang merupakan buah yang banyak dikonsumsi di seluruh dunia, baik sebagai makanan pokok maupun sumber pangan fungsional dan nutrasetika. Pisang menduduki peringkat keempat sebagai bahan pangan setelah beras, gandum dan jagung (Khoozani dkk., 2019). Sebagai buah klimakterik, perubahan fisikokimia yang terjadi selama pematangan pisang sangat cepat. Pisang memiliki keuntungan untuk dijadikan model studi pascapanen buah karena warna kulit pisang merupakan salah satu kriteria utama untuk menilai tingkat kematangan buah (Gambar 1.3). Pengembangan teknologi kemasan dan penanganan pascapanen diperlukan untuk mencapai kematangan buah yang optimal dan menjaga kualitasnya (Dwivany dkk., 2018).

Pisang *Musa acuminata* kultivar Cavendish (subgrup AAA) merupakan kultivar pisang yang paling banyak dikomersilkan, yakni sebesar 45% dari total pisang yang tersebar secara global (Falcomer dkk., 2019). Hal ini dikarenakan pisang kultivar Cavendish memiliki tingkat produksi yang tinggi, tahan terhadap cekaman abiotik, dan telah dilakukan penetapan standardisasi pascapanen yang diharapkan dari pisang ekspor (Falcomer dkk., 2019). Selain itu, terkandung berbagai nutrisi seperti mineral, vitamin, karbohidrat, serta beragam senyawa bioaktif lainnya yang penting untuk dikonsumsi karena dapat meningkatkan status gizi dan kesehatan manusia (Qamar dan Shaikh, 2018).

Spesies *Musa* bersifat pantropis, dapat pula tumbuh di daerah beriklim sedang, namun umumnya tidak dapat menghasilkan buah dikarenakan adanya keterbatasan berupa suhu dingin. Elevasi yang optimum untuk pertumbuhan pisang umumnya berkisar antara 0- 920 m atau lebih, tergantung pada garis lintang. Curah hujan minimum untuk pertumbuhan tanaman pisang bergantung pada jenis tanah, lokasi tanam, paparan sinar matahari, dan kultivar atau spesies. Tanaman pisang memiliki variasi suhu optimal untuk berkembang, yaitu 26-28 °C untuk pertumbuhan vegetatif

pisang dan 29-30 °C untuk berbuah. Tanaman pisang tumbuh di berbagai jenis tanah jika memiliki kedalaman yang cukup, drainase yang baik, pH optimal sekitar 5.5 - 7.5 (Nelson dkk., 2006).



Gambar 1.2 Warna kulit pisang merupakan salah satu kriteria utama untuk menilai tingkat kematangan buah. (Banana ripening scale. © Don Edwards, UC Davis, Postharvest, California, USA).

Indonesia memiliki sejumlah besar spesies pisang liar dan pisang yang dibudidayakan (Daniells dkk., 2001). Setidaknya terdapat 325 kultivar *Musa* yang tercatat di Indonesia (Valmayor dkk., 2002; Sulistyaningsih & Wawo., 2011; Paofa dkk., 2018) yang tersebar luas di Sumatra, Bali, Nusa Tenggara, Jawa, Kalimantan, Sulawesi, Maluku, dan Papua. Hampir seluruh wilayah Indonesia merupakan daerah penghasil pisang karena didukung oleh iklim yang sesuai. Pengembangan dan persebaran pisang dipengaruhi oleh beberapa faktor, antara lain mikroklimat dan edafik (Suhartanto dkk., 2008).

Di Indonesia, pisang merupakan komponen penting dalam bidang pangan serta ekonomi (Hapsari dkk., 2017). Khususnya di pulau Bali yang mayoritas penduduknya beragama Hindu, pisang memiliki peranan yang sangat penting dalam aspek prosesi adat, budaya, dan upacara keagamaan. Tidak hanya dalam segi jumlah, keragaman pisang juga sangat penting bagi masyarakat Bali, terutama untuk prosesi (Lugrayasa 2004; Surata, dkk., 2015; Rai dkk., 2018). Pisang juga merupakan salah satu tanaman produksi yang banyak diekspor dan dikonsumsi sehingga memberikan penghasilan dan lapangan pekerjaan bagi masyarakat. Tidak seperti tanaman produksi lainnya yang musiman, dalam kondisi yang optimal, pisang memiliki siklus produksi sepanjang tahun atau bahkan lebih (Calberto dkk., 2015).

Sebagian besar pisang yang telah teridentifikasi di Indonesia merupakan pisang yang dapat dimakan secara langsung. Pisang jenis ini merupakan pisang triploid (memiliki 3 perangkat kromosom haploid dan biasanya

bersifat steril) hasil persilangan dari dua jenis pisang pendahulunya, yaitu *Musa acuminata* (genom AA) dan *Musa balbisiana* (genom BB) sehingga menghasilkan berbagai variasi genom seperti AAA (pisang Cavendish), AAB (pisang raja), ABB (pisang lainnya) (Ebelechukwu, dkk., 2013). Salah satu jenis kultivar pisang yang dapat dikembangkan sebagai bahan pangan alternatif dan memiliki potensi yang besar dalam meningkatkan tingkat produksi negara ialah pisang Tongka Langit (*Musa troglodytarum* L.).

Namun, tingginya jumlah kultivar pisang di Indonesia belum sepenuhnya tereksplorasi, khususnya dalam bidang genetika dan biologi molekuler. Sebagai contoh studi molekuler mengenai kekerabatan kultivar pisang yang tersebar di Pulau Bali dilaporkan oleh Dwivany dkk. (2020, Gambar 1.2 dan Gambar 1.3) dapat menjadi salah satu referensi penelitian lanjutan. Minimnya informasi kekerabatan ini mempersulit perkembangan penelitian pada pisang secara umum, khususnya di Indonesia. Data dari kekerabatan ini penting untuk mengetahui potensi kultivar pisang untuk berbagai macam kegunaan misalnya pada bidang pangan maupun agrikultur. Dengan mengetahui pohon kekerabatan kultivar pisang, peneliti-peneliti Indonesia dapat mengembangkan berbagai macam produk berbahan dasar pisang yang nantinya dapat menunjang kesejahteraan masyarakat Indonesia.

Secara umum, buah pisang mengalami tiga tahapan selama proses panen, yaitu: 1) Pra-klimakterik: pada tahap ini buah yang berwarna hijau dipanen dan disimpan. Tahap ini merupakan periode di mana proses metabolisme masih rendah dan dapat diperpanjang sebelum memasuki tahap klimakterik. 2) Pematangan: pada tahap ini metabolisme buah berlangsung dengan cepat. Fase ini berlangsung secara autokatalitik. Saat pematangan telah mencapai titik optimum, tahap ini akan berhenti dengan sendirinya. 3) Penuaan: pada tahap ini metabolisme berlangsung lambat dan kualitas buah mulai menurun dan menjadi busuk.

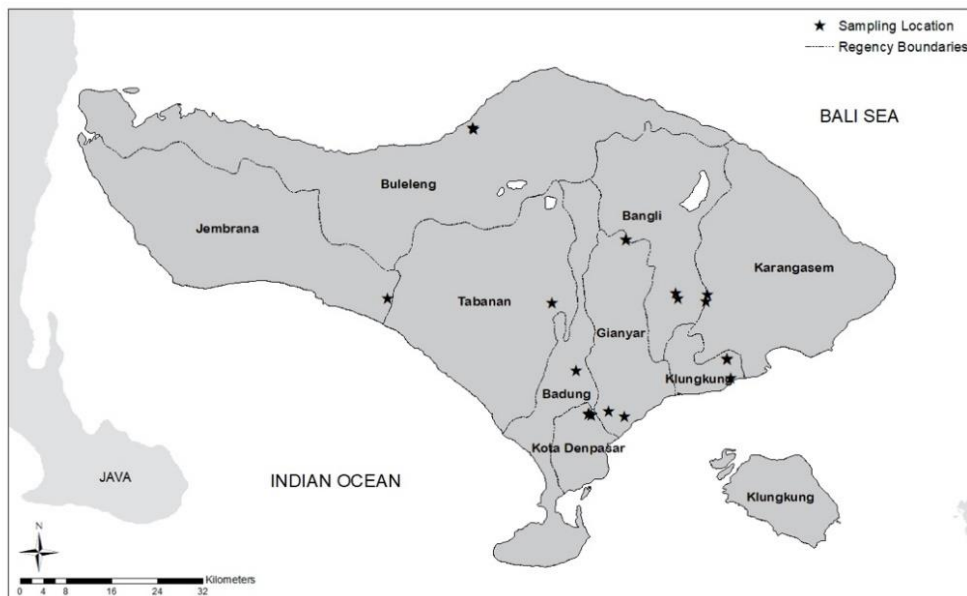
Selain itu, terdapat beberapa faktor yang mempengaruhi kondisi pascapanen buah pisang menurut Marchal (1998) dan Nelson (2008), yaitu:

- a. Penanganan distribusi dan pengemasan buah pisang: Pengemasan buah harus dilakukan dengan benar untuk menjaga kondisi buah. Ruang penyimpanan juga harus memiliki ventilasi agar berlangsung pertukaran udara. Material yang digunakan sebagai bahan pengemasan buah tidak boleh mudah terpengaruh oleh kelembapan dan mengandung senyawa

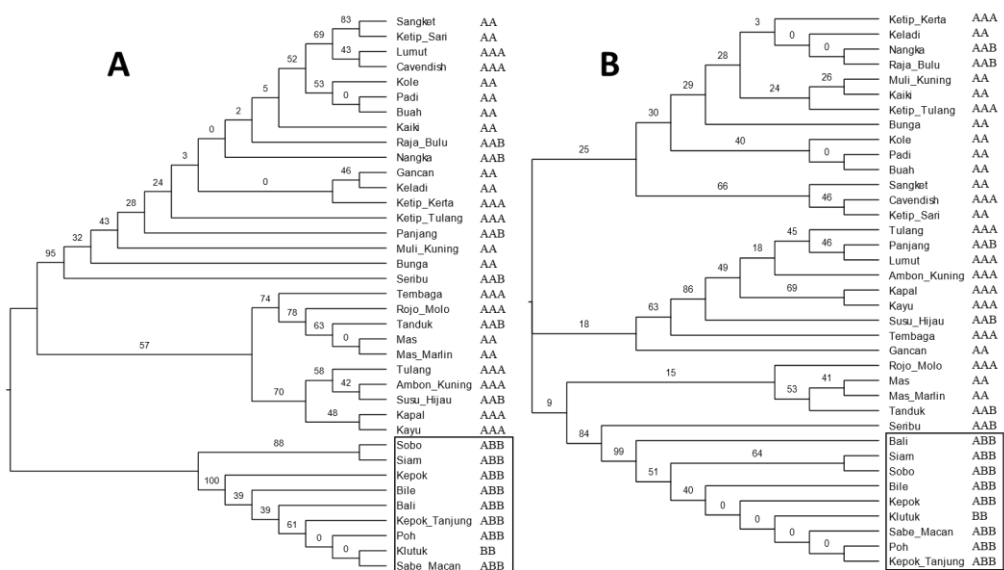
yang berbahaya bagi konsumen. Penanganan distribusi buah harus dilakukan dengan cepat dan tidak boleh terlalu lama. Saat buah dikemas, harus diperhatikan dalam penanganannya agar tidak mengalami benturan. Selain itu, saat memisahkan sisir buah dari tandan harus menggunakan pisau yang tajam dan bersih. Proses pemotongan harus dilakukan dalam satu tahap untuk menghindari kerusakan pada buah dan mempertahankan kualitasnya.

- b. Temperatur: Pematangan buah dipengaruhi oleh laju respirasi buah yang terjadi karena proses enzimatik. Laju reaksi akan meningkat pada suhu di atas 30 °C dan akan menurun di bawah suhu 30 °C. Hasil studi menunjukkan bahwa penyimpanan di atas suhu 30 °C akan menyebabkan pematangan buah secara cepat, kondisi buah menjadi berair, namun warna kulit buah masih hijau. Sedangkan penyimpanan pada suhu ruang (sekitar 25 °C) akan menyebabkan pematangan berlangsung normal. Penyimpanan buah pada suhu yang terlalu dingin, seperti ≤ 12 °C, akan menyebabkan buah mengalami *chilling injury* di mana kulit buah akan berubah warna menjadi kecokelatan. Temperatur yang optimal untuk menghambat fase klimakterik buah adalah suhu 14-18 °C. Untuk memperoleh hasil yang baik, buah biasanya disimpan pada suhu optimal setelah panen maupun selama pendistribusian.
- c. Kelembaban relatif: Kelembapan relatif area penyimpanan buah sangat berpengaruh terhadap tingkat kekenyalan (*firmness*). Kelembaban relatif yang sesuai untuk penyimpanan dan pematangan buah adalah 90%.
- d. Kondisi atmosfer: Kondisi atmosfer erat kaitannya dengan konsentrasi CO₂ dan O₂ yang dibutuhkan dalam proses respirasi buah dan sintesis hormon etilen di dalam buah. Konsentrasi CO₂ yang tinggi dan O₂ yang rendah dapat menunda pematangan buah karena O₂ sangat dibutuhkan untuk proses respirasi dan sintesis etilen, sedangkan CO₂ dapat menghambat kedua proses tersebut. Selain itu, tingkat konsentrasi gas etilen dari luar yang diberikan menentukan pula proses pematangan. Pemberian gas etilen sebesar 0,1 ppm dapat memicu produksi hormon etilen internal sehingga terjadi proses pematangan.
- e. Infeksi mikroba: Infeksi mikroba pada buah dapat mengakibatkan proses pematangan buah berlangsung dengan lebih cepat. Mikroorganisme yang menginfeksi buah dapat menstimulus produksi etilen sehingga mempercepat proses pematangan dan waktu simpan buah menurun. Mikroba dapat berasal dari tumbuhan itu sendiri, ataupun dari lingkungan

area penyimpanan sehingga diperlukan proses pencucian atau pemberian senyawa antimikroba guna mencegah terjadinya infeksi pada buah pascapanen.



Gambar 1.3 Lokasi sampling pada studi kekerabatan genetika 39 kultivar pisang Bali (Dwivany, dkk. 2020)



Gambar 1.4 Kekerabatan genetika pisang Bali berdasarkan *Internal Transcribed Spacer* (ITS)-2. A. Dendrogram dibuat dengan NJ and B. Dendrogram dibuat dengan NJ dengan informasi sktruktur sekunder dari software locARNA (Dwivany dkk., 2020)

2. TEKNOLOGI PASCAPANEN BUAH

2.1 Proses Pematangan Buah

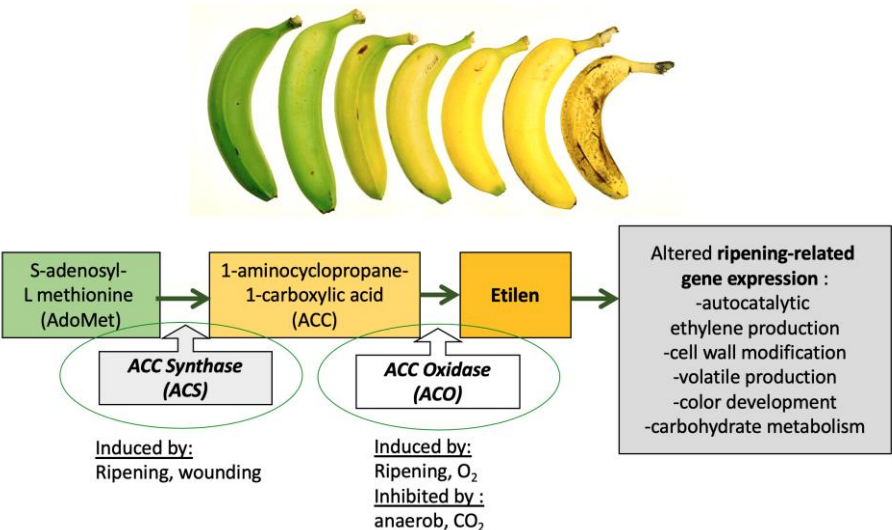
Proses pematangan buah melibatkan perubahan bahan dasar (prekursor) etilen, yaitu S-adenosyl- methionine (SAM) menjadi 1- aminocyclopropane-1- carboxylic acid (ACC), kemudian ACC diubah menjadi gas etilen (Taiz and Zeiger, 2006, Gambar 2.1). Pembentukan gas etilen terjadi melalui serangkaian reaksi enzimatik di dalam sel, yaitu perubahan SAM menjadi ACC dengan bantuan enzim ACC sintase dan pembentukan etilen dari ACC yang dikatalisis oleh enzim ACC oksidase. Kedua enzim tersebut masing-masing dikodekan oleh keluarga gen ACS dan ACO. Gas etilen memegang peranan penting pada pematangan buah karena dapat menginduksi proses dan laju pematangan buah. Namun, berbagai pengamatan membuktikan ternyata tidak semua buah dapat diinduksi dan dipercepat pematangannya dengan pemberian gas etilen.

Pada beberapa buah, pematangan tidak bergantung serta tidak juga dipercepat dengan pemberian gas etilen. Buah-buahan seperti pisang, tomat, kiwi, dan durian akan mengalami peningkatan laju respirasi tepat saat proses pematangan dimulai dan diikuti dengan peningkatan konsentrasi etilen segera setelah peningkatan laju respirasi terjadi. Hal demikian tidak terjadi pada buah-buahan seperti jeruk, stroberi, lemon, dan nanas. Berdasarkan fenomena tersebut, buah dibagi menjadi dua kategori berdasarkan mekanisme pematangannya: klimakterik, yaitu buah yang meningkat laju respirasinya dan konsentrasi etilennya saat proses pematangan, dan nonklimakterik. Perbedaan mekanisme pematangan buah ini menyebabkan perbedaan pada strategi pemanenan buah-buahan tersebut. Buah klimakterik dapat dipetik sebelum buah matang sempurna. Setelah dipanen, buah biasanya diberikan gas etilen dari luar buah untuk menginduksi proses pematangan buahnya atau disebut pemeraman buah. Sementara buah nonklimakterik hanya dapat matang sempurna ketika masih berada di pohonnya.

Pemberian etilen eksogen dapat memicu pembentukan etilen dalam sel buah melalui suatu reaksi kimiawi yang disebut autokatalitik. Meskipun buah klimakterik tidak menghasilkan gas etilen dalam jumlah yang besar selama proses maturasi, sel-sel pada buah memiliki kemampuan untuk memproduksi

etilen dari dalam selnya sendiri (etilen endogen) dan merespon etilen yang terdapat di lingkungannya (etilen eksogen). Keberadaan gas etilen ini kemudian mengaktifkan sejumlah gen yang berperan dalam mempercepat serangkaian proses pematangan misalnya proses degradasi dinding sel buah yang mengakibatkan buah memiliki tekstur yang lebih lembut saat matang. Proses pematangan terjadi secara gradual sehingga buah dapat disimpan dalam jangka waktu tertentu. Saat gas etilen eksogen diberikan pada buah non- klimakterik, laju respirasi sel buah akan meningkat namun kadar gas etilen di dalam sel tetap rendah sehingga proses pematangan buah tidak menjadi lebih cepat. Oleh karena itu, pematangan buah nonklimakterik tidak dipengaruhi oleh keberadaan gas etilen.

Pada buah-buah nonklimakterik, gen-gen yang berperan dalam pematangan buah diduga dikendalikan dan diatur oleh elemen-elemen regulasi yang berbeda dengan buah klimakterik. Sekalipun mekanisme pematangan buah nonklimakterik belum dijelaskan secara terperinci, namun diduga proses pematangan buah nonklimakterik erat kaitannya dengan proses fotosintesis dan pembentukan hasil-hasil metabolisme sekunder (misal hormon yang terdapat pada tumbuhan atau fitohormon). Hasil studi-studi yang telah dilakukan mengenai proses pematangan buah yang diperoleh menghasilkan berbagai teknologi pascapanen yang diterapkan untuk merekayasa proses pematangan buah.



Gambar 2.1 Biosintesis etilen pada proses pematangan buah (Dimodifikasi dari Taiz & Zeiger, 2006, *Banana ripening scale*. © Don Edwards, UC Davis, Postharvest, California, USA)

2.2 Teknologi Pascapanen Buah

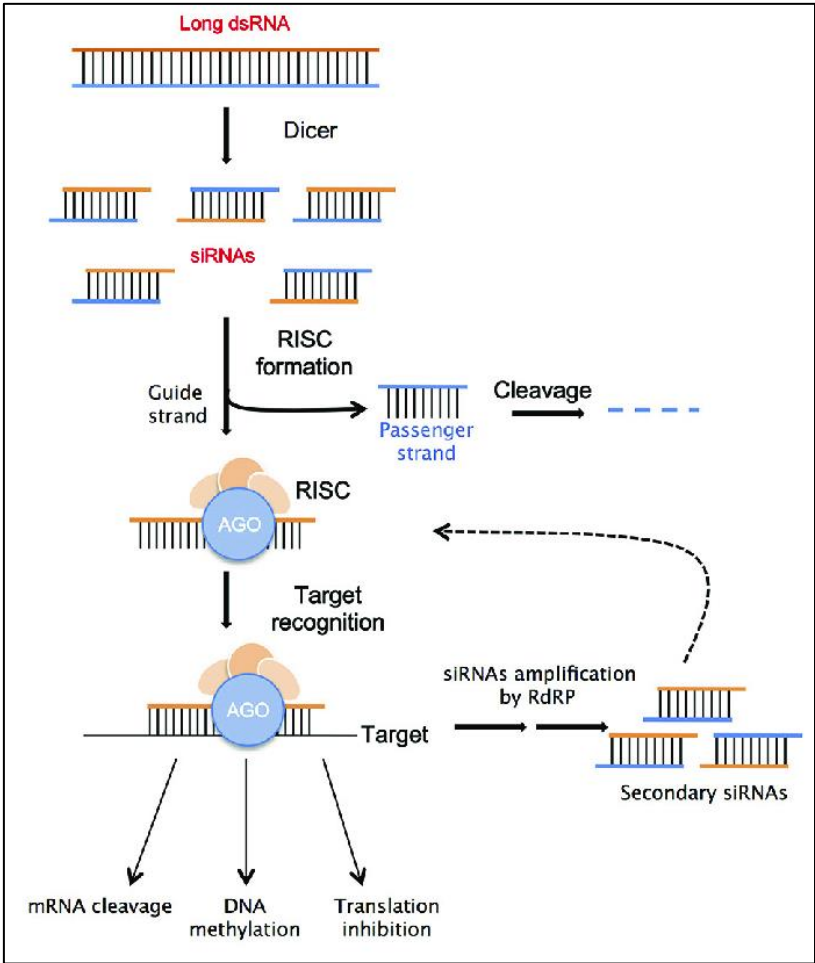
Salah satu teknologi yang dikembangkan untuk menjaga kesegaran buah-buahan pascapanen adalah melalui pengontrolan etilen. Etilen merupakan hormon tumbuhan berbentuk gas yang berperan penting pada proses pematangan buah. Gas etilen yang terdapat di atmosfer sekitar buah dapat memicu proses pematangan buah menjadi lebih cepat karena enzim yang berperan memproduksi etilen menjadi lebih aktif. Terdapat dua strategi pengontrolan etilen, yaitu dengan aksi pada level tumbuhan (*plant level*) dan pada level lingkungan (*environment level*) (Keller dkk., 2013).

2.2.1 Strategi Pengontrolan Etilen pada Level Tumbuhan

Strategi pengontrolan etilen pada level tumbuhan dapat dilakukan dengan modifikasi genetika. Modifikasi secara genetika dapat dilakukan dengan memodifikasi gen-gen pada jalur biosintesis etilen, seperti *ACO* atau *ACC* yang berkaitan dengan pematangan buah (Dwivany dkk., 2017). Proses modifikasi ini diharapkan menghasilkan buah yang mengalami pematangan secara normal namun dapat memperlambat laju sintesis etilen. Selain itu, modifikasi gen juga dapat dilakukan terhadap gen-gen yang bertanggung jawab pada daerah pengenalan (*binding site*) etilen. Salah satu teknologi yang dapat digunakan untuk membungkam (*knock out*) kerja gen adalah teknologi RNAi (Gambar 2.2).

Teknologi ini telah digunakan pula untuk membungkam kerja gen *ACO* pada studi yang kami lakukan dengan metode transformasi transien menggunakan agroinfiltrasi pada buah pisang (Prayuni dan Dwivany, 2015). Studi pendahuluan menunjukkan bahwa ekspresi gen *ACO* pada buah pisang spesifik terjadi saat pematangan buah (Handayani, 2010). Pada studi kami sebelumnya, sembilan gen dari keluarga gen *ACS* telah diisolasi (Tabel 2.1) dan hasil analisis ekspresi gen menunjukkan bahwa ekspresi gen *ACS1* pada buah meningkat sejalan dengan proses pematangan (Gambar 2.3, Karmawan et al. 2009). Hal ini menjadi dasar studi lanjut untuk mempelajari fungsi kedua gen ini menggunakan metoda RNAi. Hasil studi yang kami lakukan menunjukkan bahwa metode RNAi berhasil menurunkan ekspresi gen *ACO* endogen secara lebih signifikan menggunakan promotor gen yang sama (gen *ACO*) dibandingkan menggunakan promotor konstitutif, *CaMV35S* (Gambar 2.4 dan 2.5). Baru-baru ini studi pembungkaman ekspresi kedua gen tersebut

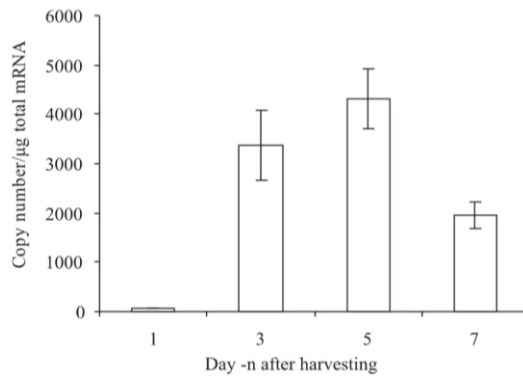
dengan metode RNAi dilaporkan berhasil menghambat proses pematangan buah pisang pada tanaman pisang transgenik (Xia et al.,2020).



Gambar 2.2 Mekanisme pembungkaman kerja gen target dengan mekanisme RNAi (Limera dkk., 2017).

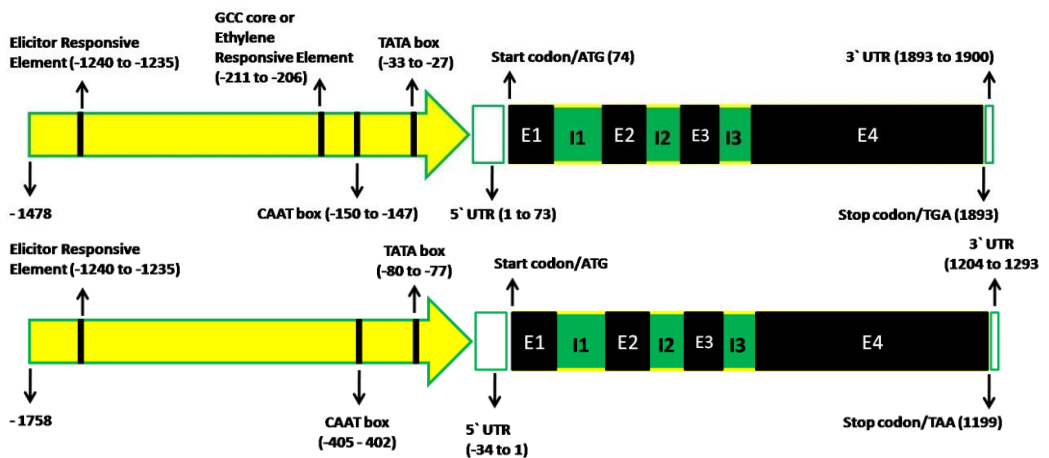
Tabel 2.1 Fragmen gen ACS dari *Musa acuminata* cultivar pisang ambon lumut (Karmawan, dkk. 2019)

Nama Gen	GenBank ACC number
ACS1	GQ406065
ACS2	GQ406066
ACS3	GQ406067
ACS4	GQ406068
ACS5	GQ406069
ACS6	GQ406070
ACS7	GQ406071
ACS8	GQ406072
ACS9	GQ406073

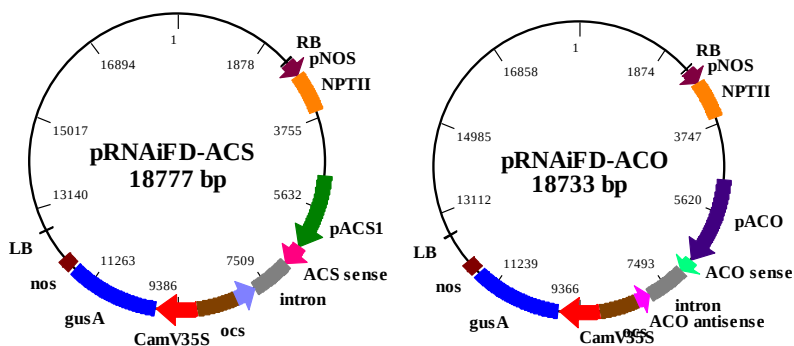


Gambar 2.3 Ekspresi gen *ACS1* pada proses pematangan buah pisang (Karmawan, dkk. 2009)

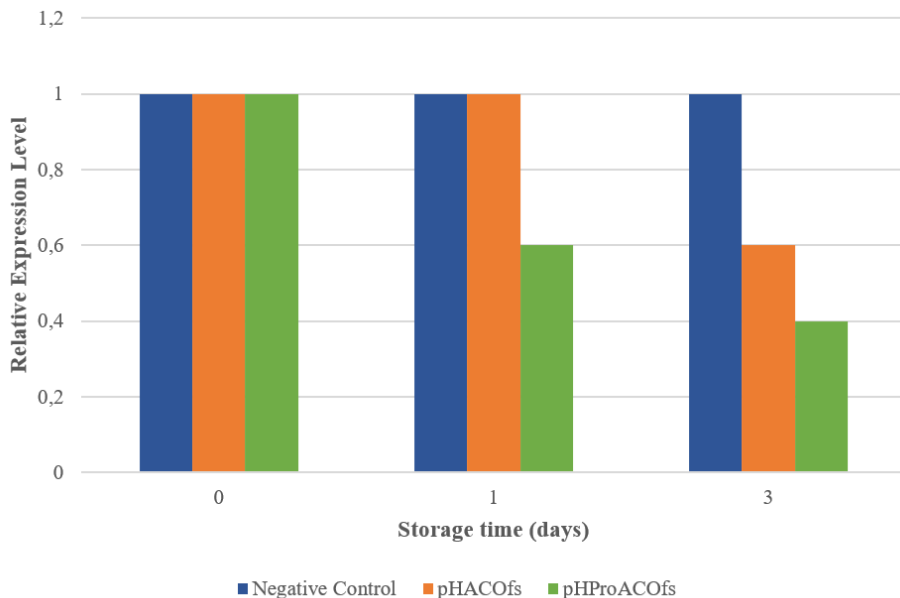
A



B



Gambar 2.4 Pembungkaman gen dengan metode RNAi. A. Struktur gen *ACS1* dan *ACO1* pisang B. Diagram plasmid pRNAiFD-ACS dan pRNAiFD-ACO untuk membungkam gen *ACS1* dan *ACO1* pisang menggunakan promotor gen yang sama (Dwivany dkk. 2018, Metode pengaturan pematangan buah pisang ambon lumut *Musa acuminata* cv Pisang Ambon Lumut, AAA Group dengan Manipulasi Gen yang Berperan. Paten Granted. IDP000051217).



Gambar 2.5 Hasil analisis ekspresi gen pada buah pisang yang telah ditransformasi plasmid RNAi. Ekspresi gen relatif setelah tiga hari transformasi menggunakan metode transien untuk pembungkaman gen *ACO1* menggunakan plasmid kosong (kontrol), plasmid RNAi ACO+promotor CaMV35S (pHACOfs) dan plasmid RNAi ACO+promotor ACO (pHProACOfs) (Dwivany dkk., 2018).

Strategi lain yang dapat digunakan adalah dengan penambahan senyawa kimia. Senyawa kimia yang ditambahkan akan bekerja menghambat sintesis atau kerja etilen. Hasil penelitian Capitani dkk. (2002) menunjukkan bahwa penambahan senyawa *aminoethoxyvinyl glycine* (AVG) dapat digunakan untuk menghambat sintesis etilen karena menghambat sintesis bahan dasar etilen, yaitu ACC. Selain itu, penelitian oleh Keller dkk. (2013), menunjukkan bahwa senyawa *1-methylcyclopropene* (1-MCP) atau perak (Ag^+) dapat digunakan untuk mencegah senyawa etilen dikenali oleh reseptor pada tumbuhan.

2.2.2 Strategi Pengontrolan Etilen pada Level Lingkungan

Strategi pengontrolan etilen pada level lingkungan dapat dilakukan antara lain dengan penghambatan etilen dan pemecahan senyawa etilen. Penghambatan etilen dapat dilakukan dengan menyimpan buah pada kondisi hipobarik (tekanan rendah) atau menggunakan *controlled atmosphere storage* (CA), *modified atmosphere* (MA), dan *modified atmosphere packaging* (MAP) (Ahmad dkk., 2001, Kudachikar dkk., 2011). Adapun senyawa pemecah etilen yang dapat digunakan adalah TiO_2 karena sifatnya yang tidak beracun, dapat

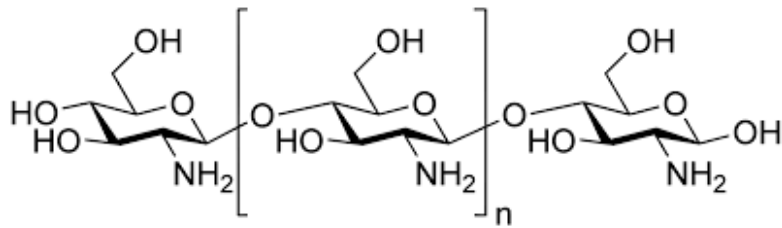
berperan sebagai *ethylene scavenger* melalui proses degradasi fotokatalitik (Keller dkk., 2013). Berikut uraian mengenai beberapa contoh studi yang kami lakukan untuk memodifikasi lingkungan pada penyimpanan buah.

a. *Edible coating*

Salah satu teknologi yang terus dikembangkan untuk mempertahankan kualitas buah adalah penyalutan dengan menggunakan *edible film* yang dapat dikonsumsi atau disebut *edible coating*. *Edible coating* adalah lapisan tipis yang dibuat dari bahan yang aman untuk dimakan, dapat didegrasi dan ekonomis sehingga dapat diaplikasikan untuk memperpanjang masa simpan buah-buahan dan sayuran. Bahan *edible coating* yang dibuat dengan material dari organisme laut, antara lain kitosan dan karagenan. Studi yang telah dilakukan menggunakan kedua material tersebut pada buah pisang dapat memperpanjang masa simpan buah (Dwivany dkk., 2020, Lustriane dkk., 2018).

Kitosan diketahui bersifat nontoksik, mudah didegradasi, memiliki banyak sifat fungsional seperti antimikroba, antioksidan, dan biokompatibel sehingga dapat digunakan sebagai penyalut buah pisang merupakan salah satu cara untuk meningkatkan kualitas dan memperpanjang masa simpan buah. Kitosan adalah polisakarida linear yang terdiri dari residu β -(1 $\rightarrow$ 4)-linked 2-amino-2-deoksi-D-glukosa, berasal dari turunan deasetilasi kitin, polisakarida kedua yang paling melimpah di alam setelah selulosa yang dapat ditemukan dari banyak sumber termasuk eksoskeleton krustasea, serangga, moluska, dan fungi (Gambar 2.6). Kitosan dapat mengurangi laju respirasi buah dengan membentuk lapisan pada buah dan mengatur permeabilitas karbon dioksida dan oksigen (Jianglian, 2013; Luo dan Wang, 2013). Pada bab berikutnya dijelaskan bagaimana mekanisme kitosan dalam menghambat pematangan buah.

A



B



Gambar 2.6 Struktur dan Sumber Kitosan. A. Struktur Kimia Kitosan (El-banna dkk. 2019) B. Cangking Udang Sebagai Contoh Sumber Kitosan.

b. *Fruit Storage Chamber*

Selain itu, kekayaan alam di sekitar kita dapat dimanfaatkan pula untuk menghasilkan inovasi pascapanen. Salah satu inovasi yang kami kembangkan untuk tempat penyimpanan adalah kotak penyimpanan buah yang juga disebut dengan *Fruit Storage Chamber* (FSC) dari bambu. Material bambu dipilih karena sifat bambu yang kuat serta mudah didapatkan dan dibentuk. Analisis desain kotak penyimpanan dilakukan secara menyeluruh agar dapat memenuhi kriteria penyimpanan pisang yang ekonomis, yaitu murah, tahan lama, tidak membutuhkan perawatan yang banyak, ringan, serta memiliki fungsi efisiensi ruang. FSC dari bambu dapat dijadikan alternatif pengganti kotak kardus yang hanya bisa digunakan dalam jangka pendek. FSC dapat digunakan sebagai wadah yang dapat menjaga sirkulasi udara karena dilapisi kertas berpori sehingga dapat mengurangi oksigen yang masuk ke dalam wadah dan dapat menjaga wadah dari kelembaban akibat uap air yang dihasilkan selama proses respirasi buah. FSC dari bambu yang dilapisi kertas semen dan disimpan pada suhu ruang juga dapat memperpanjang masa simpan buah.

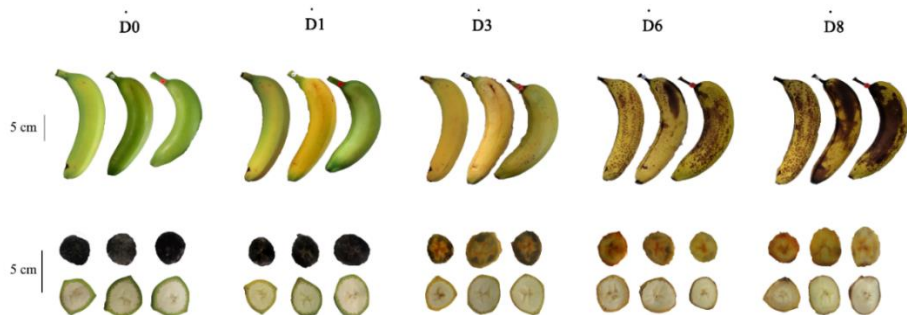
FSC dapat dikombinasikan pula dengan senyawa pemecah etilen, seperti TiO_2 yang didoping Mangan (Mn) sebagai lapisan tipis pada FSC bambu

(**Gambar 2.7**). TiO_2 adalah sebagai fotokatalis yang dapat mendegradasi etilen menjadi CO_2 dan air serta menurunkan rasio oksigen terhadap CO_2 di atmosfer (Hussain dkk., 2010, Charoenshap dkk., 2012). Seperti telah dijelaskan sebelumnya oksigen diperlukan untuk mengkonversi ACC menjadi etilen oleh ACC oksidase. Studi yang kami lakukan menggunakan pisang Cavendish yang disimpan pada FSC menunjukkan bahwa dengan perlakuan tersebut ekspresi gen yang terkait biosintesis etilen, *ACS1* terpengaruh dan proses pematangan buah dapat dihambat (Gambar 2.8 dan 2.9, Dwivany dkk., 2019). Hasil studi ini dapat digunakan untuk pengembangan teknologi FSC- TiO_2 dalam pascapanen selanjutnya.

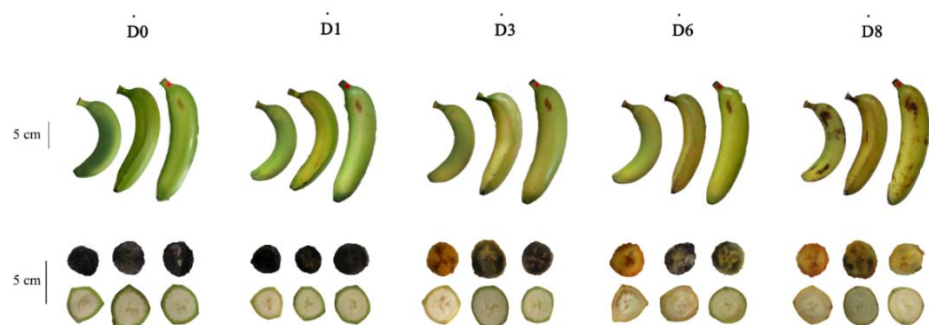


Gambar 2.7 *Fruit Storage Chamber (FSC) yang diberi lapisan TiO_2 (Larasati dkk. 2021. Alat untuk memperlambat pematangan buah yang menggunakan material kimiawi pemecah etilen, Paten Granted IDS000003520)*

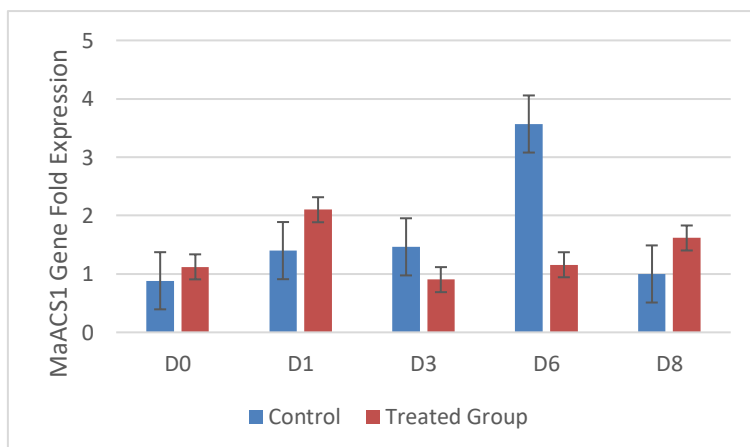
A



B



Gambar 2.8 Perubahan warna dan kandungan pati buah pisang pada perlakuan TiO_2 yang didoping Mangan (Mn) selama delapan hari pematangan buah. A. Kontrol tanpa perlakuan B. Perlakuan dalam Fruit Storage Chamber yang diberi pelapis TiO_2 yang didoping Mangan (Mn). D 0-8 menunjukkan hari pengambilan sampel buah selama pematangan (Dwivany, dkk. 2019)



Gambar 2.9 Perubahan ekspresi gen *ACS1* pada perlakuan TiO_2 yang didoping Mangan (Mn) selama delapan hari pematangan buah. A. Kontrol tanpa perlakuan B. Perlakuan dalam *Fruit Storage Chamber* yang diberi pelapis TiO_2 yang didoping Mangan (Mn). D 0-8 menunjukkan hari pengambilan sampel buah selama pematangan (Dwivany, dkk. 2019)

c. Modifikasi atmosfer

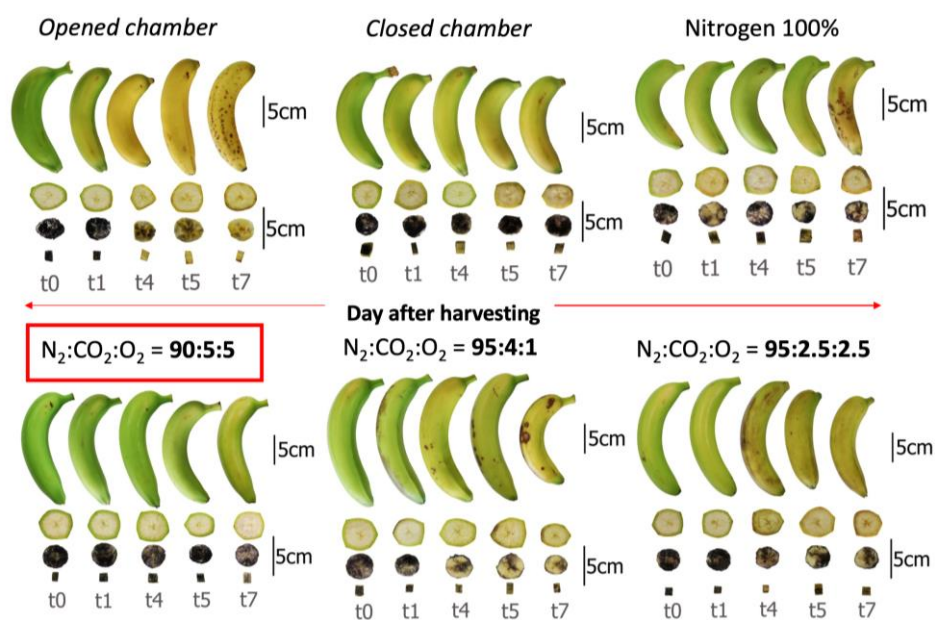
Selain pemanfaatan material dari laut dan darat, komposisi gas di atmosfer dalam ruang penyimpanan dapat digunakan untuk pengontrolan pematangan buah. Penyimpanan buah dengan menggunakan teknologi *Modified Atmosphere* (MA) dan *Controlled Atmosphere* (CA) diketahui mampu menunda pematangan dan memperlambat laju respirasi buah. Kontrol atmosfer sebenarnya telah banyak digunakan untuk menjaga kondisi fisik buah pisang. Pada studi yang kami lakukan, FSC dengan komposisi atmosfer yang terdiri dari 90% nitrogen, 5% oksigen dan 5% karbon dioksida menurunkan ekspresi gen *ACS1* dan *ACO1* yang terkait dengan biosintesis etilen dan menghambat proses pematangan buah (Gambar 2.10 dan 2.11, Dwivany dkk., 2012).

Berbeda dengan kondisi bumi, kondisi mikrogravitasi di luar angkasa dapat menyebabkan pembatasan konveksi udara, yang mengakibatkan perubahan komposisi oksigen dan karbon dioksida di sekitar permukaan tanaman (Monje dkk., 2003). Hal ini disebabkan lapisan udara yang stagnan dan tebal di sekitar tanaman dan udara dari luar sulit untuk tersebar sehingga karbon dioksida akan meningkat akibat respirasi dan oksigen berkurang karena pembatasan konveksi udara. Seperti telah dijelaskan sebelumnya pada biosintesis etilen diperlukan oksigen sehingga kondisi mikrogravitasi diduga akan berpengaruh pula pada proses pematangan buah. Oleh karena itu, kami melakukan studi untuk mengetahui efek simulasi mikrogravitasi pada proses pematangan buah karena studi mengenai hal ini masih sangat terbatas. Hasil studi menunjukkan bahwa simulasi menggunakan 3D klinostat dalam *chamber* tertutup untuk menyimulasikan pembatasan konveksi udara dapat menghambat pematangan buah pisang dan secara umum menurunkan ekspresi gen *ACS1*, *ACS5*, dan *ACO1* yang berada pada jalur biosintesis etilen (Gambar 2.12, Dwivany dkk., 2016).

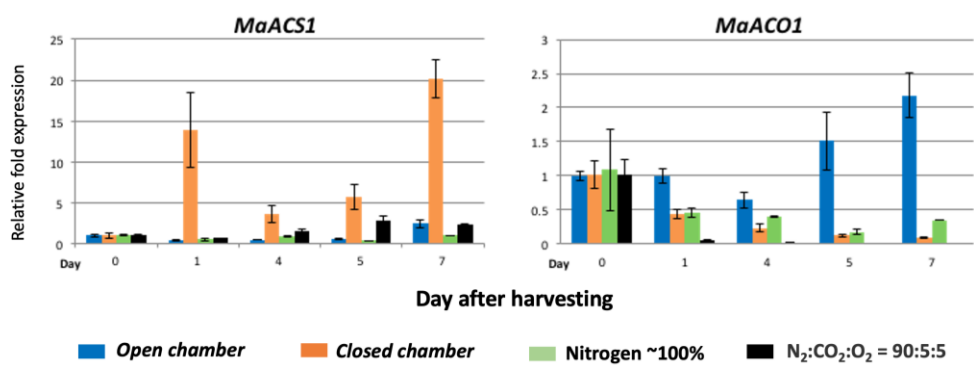
d. Pengaturan temperatur

Selain itu, pengontrolan atmosfer lainnya yang paling mudah adalah dengan pengaturan temperatur. Buah pisang disimpan dalam ruangan yang temperaturnya terkontrol agar temperatur ruangan selalu berada pada temperatur optimal penyimpanan buah pisang. Penjagaan temperatur ruangan harus sangat diperhatikan karena buah pisang merupakan buah yang cukup sensitif terhadap temperatur dingin. Studi yang kami lakukan dengan perlakuan suhu menunjukkan bahwa pisang Raja Bulu yang ditaruh pada

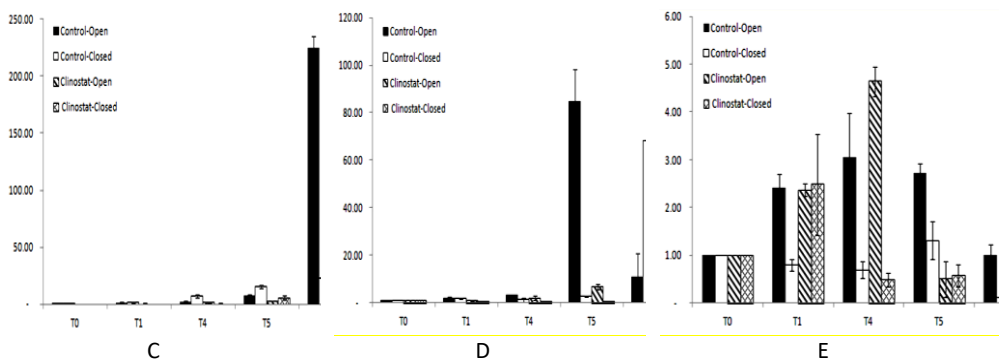
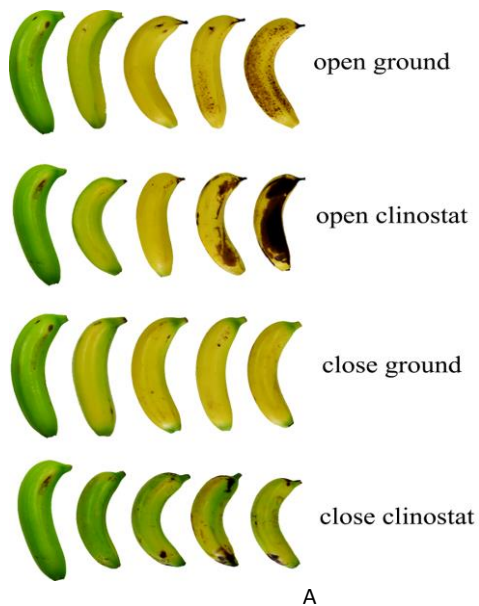
suhu 20 °C memiliki masa simpan yang lebih panjang daripada yang ditaruh di suhu ruang. Suhu juga menurunkan level ekspresi gen terkait biointesis etilen, *ACS1* dan *ACO1* selama tujuh hari masa penyimpanan (Dwivany et al. 2016). Namun buah pisang yang disimpan pada temperatur di bawah temperatur optimal akan mengalami *chilling injury* dan mengalami perubahan warna hijau menjadi kuning dan kehitaman, serta akan mempengaruhi proses pematangannya.



Gambar 2.10 Perubahan warna dan kandungan pati buah pisang pada perlakuan komposisi gas dalam atmosfer yang berbeda. Perlakuan yang diberikan adalah komposisi atmosfer yang terdiri dari nitrogen (N₂), oksigen (O₂) dan karbondioksida (CO₂) selama tujuh hari pematangan buah (Dwivany, dkk. 2012)



Gambar 2.11 Perubahan ekspresi gen *ACS1* dan *ACO1* pada perlakuan atmosfer yang diberi perlakuan perbedaan komposisi gas selama tujuh hari pematangan buah. Perlakuan yang diberikan adalah komposisi atmosfer yang terdiri dari nitrogen (N₂), oksigen (O₂) dan karbondioksida (CO₂) selama tujuh hari pematangan buah (Dwivany, dkk. 2012)



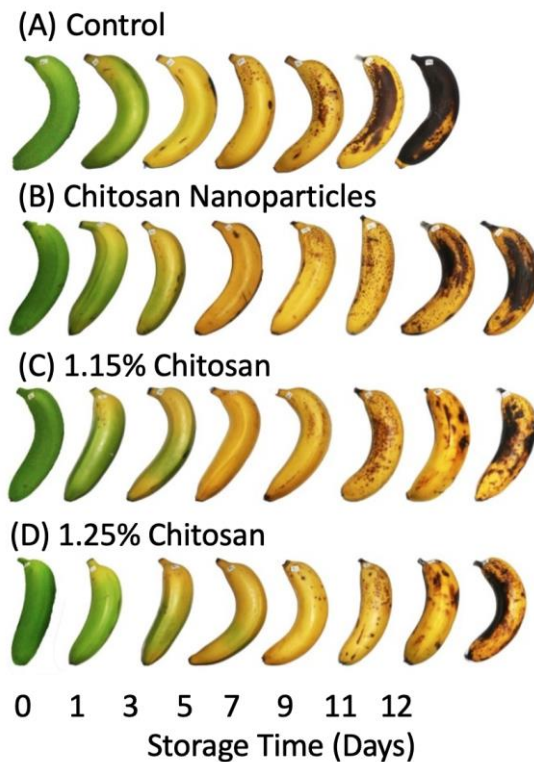
Gambar 2.12 Efek penyimpanan pisang pada alat simulasi mikrogravitasi menggunakan 3D klinostat. A. Perubahan warna kulit buah pada empat kondisi penyimpanan B. Alat 3D klinostat yang dibuat tim ITB C-D. Perubahan ekspresi gen C. *MaACS1*, D. *MaACS5* and, E. *MaACO1*. (Dwivany dkk., 2016)

3. APLIKASI OMIKS PADA STUDI PASCAPANEN BUAH

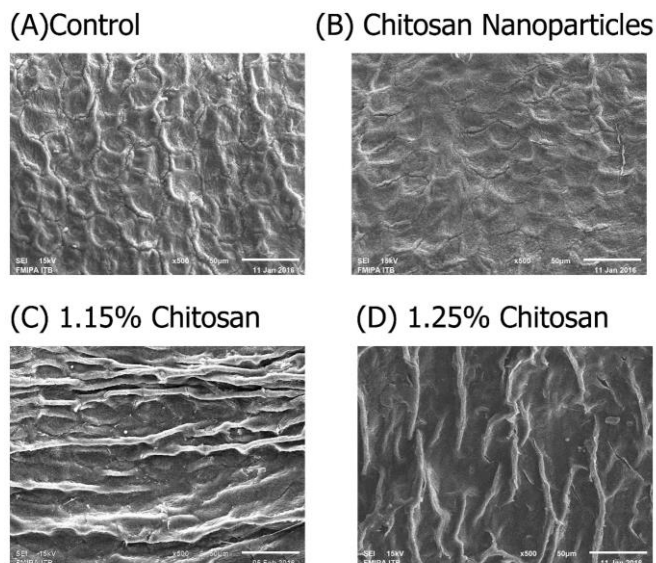
3.1 Studi Pendahuluan

Studi pascapanen menggunakan buah pisang sebagai model yang bertujuan untuk mempelajari efek *edible coating* terhadap proses pematangan buah serta mekanismenya kami lakukan dengan penyalutan buah pisang Cavendish (*Musa acuminata* AAA group) yang telah diberi perlakuan etilen menggunakan kitosan. Kitosan yang digunakan dengan konsentrasi 1,15%, 1,25% serta nanopartikel kitosan kemudian dibandingkan dengan kontrol tanpa penyalutan (Gambar 3.1-3.4).

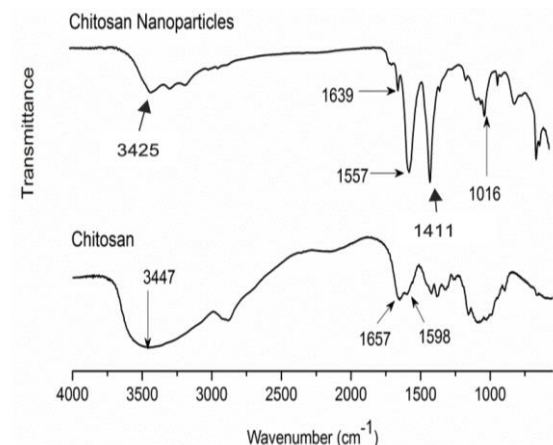
Studi ini menunjukkan bahwa penyalutan kitosan dapat memperpanjang masa simpan buah dengan menekan laju pematangan. Hasil analisis fisikokimia menunjukkan bahwa perubahan nilai susut bobot, rasio daging dengan kulit serta total padatan terlarut serta konsentrasi etilen pada buah pisang yang disalut lebih rendah jika dibandingkan dengan kontrol. Pada level ekspresi gen, perlakuan kitosan menurunkan tingkat ekspresi dua gen yang berperan pada biosintesis etilen selama penyimpanan buah. Hal ini dikonfirmasi pula oleh studi lanjutan yang kami lakukan bahwa terdapat korelasi antara penurunan ekspresi gen *MaACS1* dan *MaACO1* yang memiliki peran pada biosintesis etilen (*Ma: Musa acuminata*) dengan kadar etilen serta laju respirasi yang ditunjukkan oleh kadar CO₂ yang dihasilkan buah pisang (Pratiwi *et al.*, 2015, Yamamoto *et al.*, 2018, Dwivany *et al.*, 2018 dan Dwivany *et al.*, 2020). Studi yang dilakukan dilengkapi pula dengan uji organoleptik yang menunjukkan bahwa perlakuan kitosan dan nanokitosan dapat mempertahankan kualitas sensorik, yaitu warna, rasa, dan kenampakan pisang namun perlakuan kitosan 1,25% memiliki penilaian paling tinggi dari panelis (Tabel 1). Hasil analisis kuantitatif level ekspresi gen *MaACS1* dan *MaACO1* pada pisang yang disalut kitosan 1,25% dan kontrol menunjukkan bahwa penyalutan kitosan menurunkan ekspresi kedua gen tersebut. Studi ini menunjukkan bahwa kitosan dengan konsentrasi 1,25% memberikan hasil paling optimum untuk memperpanjang masa simpan buah pisang Cavendish.



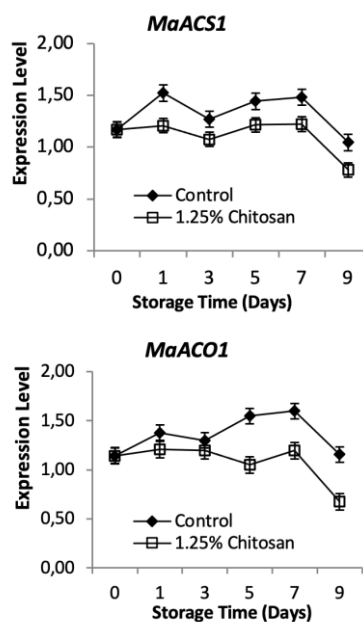
Gambar 3.1 Pisang Cavendish yang diberi perlakuan nanopartikel kitosan dan kitosan dengan berbagai konsentrasi beserta kontrol selama pematangan (Lustriane dkk., 2018).



Gambar 3.2 Pengamatan dengan *Scanning Electron Microscope* (SEM) pada hasil pelapisan nanopartikel kitosan dan kitosan berbagai konsentrasi di permukaan kulit pisang Cavendish (Lustriane dkk., 2018)



Gambar 3.3 Spektrum FTIR Nanopartikel Kitosan dan Kitosan (Lustriane dkk., 2018)



Gambar 3.4 Analisis tingkat ekspresi gen *MaACS1* dan *MaACO* pada buah pisang yang disalut Kitosan 1,25% dan kontrol (Lustriane dkk., 2018)

Tabel 3.1 Hasil uji organoleptik pada pisang Cavendish dengan perlakuan kitosan yang disimpan selama enam hari pada suhu $25 \pm 1^\circ\text{C}$ (Lustriane dkk., 2018)

Perlakuan	Rasa	Warna	Kenampakan Keseluruhan
Kontrol	4.54 ± 0.26^a	3.96 ± 0.25^a	4.27 ± 0.14^a
Nanokitosan	4.70 ± 0.49^a	3.66 ± 0.39^a	3.67 ± 0.32^a
Kitosan 1.15%	4.68 ± 0.34^a	4.53 ± 0.92^a	4.42 ± 0.59^a
Kitosan 1.25%	4.84 ± 0.24^a	4.47 ± 0.24^a	4.42 ± 0.32^a

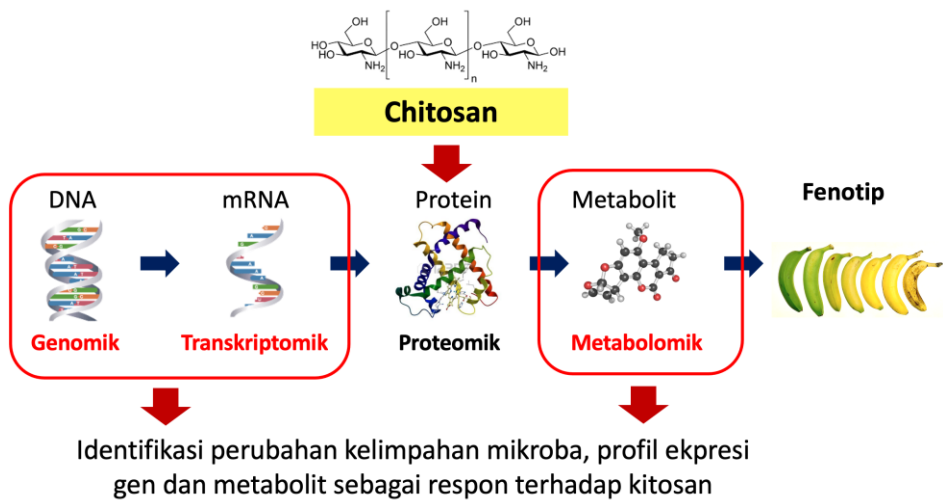
Nilai rata-rata $\pm$ standar deviasi dengan huruf yang sama menunjukkan nilai yang tidak berbeda nyata ($p \leq 0.05$).

3.2 Aplikasi Omiks pada Studi Pascapanen Buah

Seperti yang telah disebutkan sebelumnya, proses pematangan buah adalah proses yang kompleks dan dipengaruhi faktor biotik dan abiotik. Untuk memahami proses yang kompleks tersebut, kami melakukan studi multi-omiks dengan pendekatan transkriptomik menggunakan teknologi *Next Generation Sequencing* (NGS) untuk mengetahui ekspresi global gen dan pendekatan metabolomik untuk mengetahui profil metabolit buah dengan pendekatan *gas chromatography-mass spectrometry* (GC-MS) (Gambar 3.5). Walaupun studi transkriptomik terkait pematangan buah telah dilakukan pada buah-buahan seperti pisang, stroberi, dan semangka sebelumnya (Yi dkk., 2021; Yun dkk. 2019 dan Saminathan dkk. 2018), demikian pula studi metabolomik telah dilakukan pada sawo, leci, dan persik (Brizzolara dkk., 2018; Das dan De, 2015). Namun studi transkriptomik dan metabolomik untuk mempelajari mekanisme terkait hubungan pematangan buah pisang dan penyalutan kitosan belum pernah dilaporkan sebelumnya.

Selain itu, tanaman sebagai holobion diketahui berasosiasi pula dengan kompleks mikrobiom yang mencakup bakteri, jamur, dan protista yang memiliki efek pada berbagai aspek tanaman mulai dari pertumbuhan, kesehatan, hingga evolusi. Mikrobiom yang terkait dengan tanaman dapat ditransmisikan secara vertikal, misalnya bakteri endofitik yang hidup di jaringan tanaman, atau secara horizontal seperti mikrobiota yang terdapat di sekitar lingkungan dengan sengaja atau tidak melekat pada tanaman. Mikrobiota merupakan bagian integral dari sistem kekebalan, metabolisme, dan keseimbangan hormon tanaman (Ravanbakhsh dkk., 2018). Pendekatan metagenomik dengan menggunakan teknologi NGS telah digunakan dalam mempelajari keragaman mikroba tersembunyi dalam berbagai parameter lingkungan (Escobar-Zepeda dkk., 2015). Pendekatan metagenomik dapat digunakan mengumpulkan deskripsi komunitas mikroba dan virus dalam suatu lingkungan dengan mengekstraksi dan mengurutkan DNA (Dinsdale dkk., 2013). Studi mengenai metagenomik pada buah semangka menunjukkan bahwa *Proteobacteria* dan *Cyanobacteria* melimpah pada beberapa varietas semangka (Saminathan dkk., 2018). Juga terdapat studi metagenomik mengenai mikrobiota epifitik yang dilakukan pada buah apel. Studi tersebut menunjukkan bahwa keberadaan mikrobiota epifitik di permukaan buah mempengaruhi kualitas pematangan buah (Angeli dkk., 2019). Namun, studi metagenomik dan metatranskriptomik pada proses pematangan pisang

belum pernah dilaporkan sebelumnya. Oleh karena itu, studi dilakukan pula untuk menentukan dan menganalisis profil komunitas mikroba serta ekspresi gennya pada pisang yang diberi penyalutan kitosan untuk menunda pematangan.



Gambar 3.5 Aplikasi omiks pada studi pascapanen buah

3.3 Studi Omiks pada Pematangan Buah Pisang yang Disalut Kitosan

Pada studi yang kami lakukan, perubahan ekspresi gen global dianalisis selama proses pematangan buah pisang Cavendish pada hari pertama dan ketujuh pematangan buah yang dilapisi kitosan 1,25% (perlakuan terbaik dari studi pendahuluan) dan kontrol. Untuk memperoleh data profil ekspresi gen digunakan pendekatan transkriptomik menggunakan teknologi RNA-Seq. Hasil analisis transkriptom berdasarkan analisis pengayaan jalur *Kyoto Encyclopedia Genes and Genomes* (KEGG) dan nilai perubahan kelipatan ekspresi gen (*log2-fold change*) menunjukkan pelapisan kitosan dapat mempengaruhi ekspresi gen-gen di jalur sintesis etilen, metabolisme pati dan sukrosa, glikolisis, siklus Krebs/siklus asam sitrat (TCA) (Gambar 3.6 dan 3.7). Perubahan ekspresi gen karena pengaruh kitosan pada jalur tersebut antara lain penurunan gen *ACO* (jalur sintesis etilen) dan *BAM3* (jalur degradasi pati), serta peningkatan ekspresi gen *PFK*, *PGK*, *PKM2* dan *ADH* (jalur glikolisis dan fermentasi). Selain itu, beberapa gen yang terdapat pada jalur TCA juga

mengalami perubahan ekspresi akibat pengaruh kitosan diantaranya yaitu *ACON*, *OGDH*, dan *SCS* dengan ekspresi yang lebih rendah pada perlakuan kitosan.

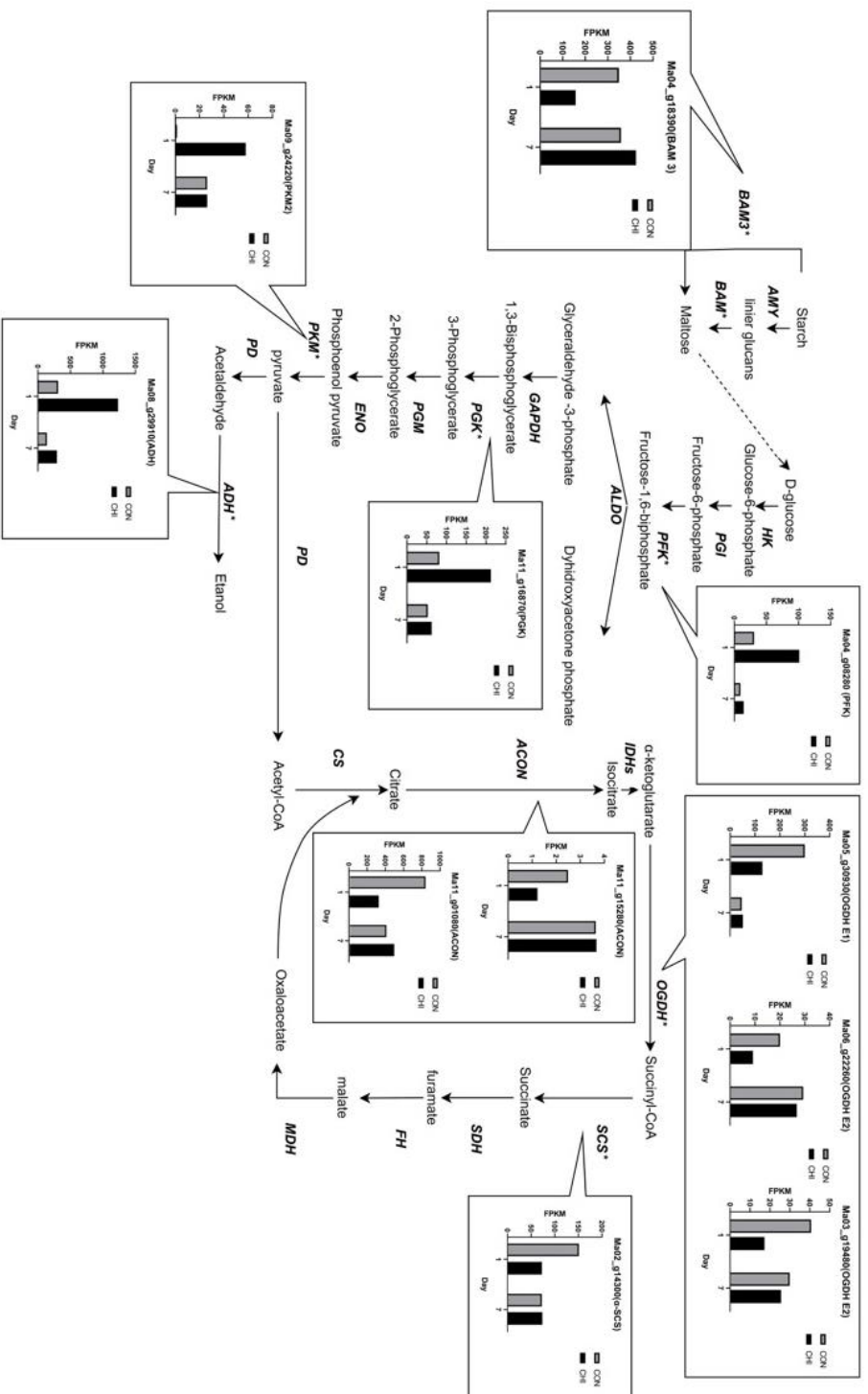
Secara lebih mendetail, sebagai contoh hasil analisis perubahan profil ekspresi gen pada pisang yang dilapisi kitosan menunjukkan menurunnya ekspresi gen *ACO*, gen pengkode enzim ACC oksidase yang berperan sebagai katalisis perubahan ACC menjadi etilen. Diduga berkurangnya kadar O_2 yang diakibatkan oleh pelapisan kitosan pada permukaan buah menurunkan ekspresi *ACO*. Berkurangnya sintesis etilen mempengaruhi pula degradasi pati, metabolisme sukrosa dan respirasi buah (glikolisis) sehingga pematangan buah menjadi terhambat. Buah yang kekurangan oksigen tetap dapat menghasilkan energi melalui jalur fermentasi sehingga terjadi peningkatan ekspresi gen *PFK*, *PGK*, *PKM2* dan *ADH* yang berperan pada sintesis alkohol dari piruvat pada buah yang dilapisi kitosan. Kekurangan oksigen pada buah pisang yang diberikan perlakuan kitosan juga ditunjukkan dari gen-gen pada jalur TCA yang memiliki ekspresi lebih rendah pada perlakuan kitosan (*ACON*, *OGDH* dan *SCS*) dibandingkan dengan kontrol. Seperti dijelaskan sebelumnya, oksigen yang lebih rendah menyebabkan buah berfokus menghasilkan energi pada tahap glikolisis dan masuk ke tahap pembentukan alkohol sebagai alternatif dari siklus TCA. Hal ini diduga menyebabkan gen-gen yang berperan pada jalur TCA menjadi kurang aktif.

Selain analisis pada level ekspresi gen, kami juga melakukan studi untuk menganalisis profil metabolit berbasis GC-MS pada proses pematangan pisang untuk mengetahui pengaruh metabolisme global pada buah pisang setelah diberi lapisan kitosan. Metabolit yang dipengaruhi oleh perlakuan kitosan adalah asam 1-aminosiklopropana-1-karboksilat (ACC), glisin dan α -ketoglutarat. (Gambar 3.8, Parijadi dkk, 2022). Perlakuan kitosan menghasilkan penumpukan metabolit ACC yang menjadi prekursor etilen. Hal ini diduga sejalan dengan hasil analisis perubahan profil ekspresi gen yang menunjukkan menurunnya ekspresi gen *ACO* yang mengkode enzim ACC oksidase. Menurunnya biosintesis ACC oksidase diduga menyebabkan penumpukan ACC yang menjadi prekursor etilen.

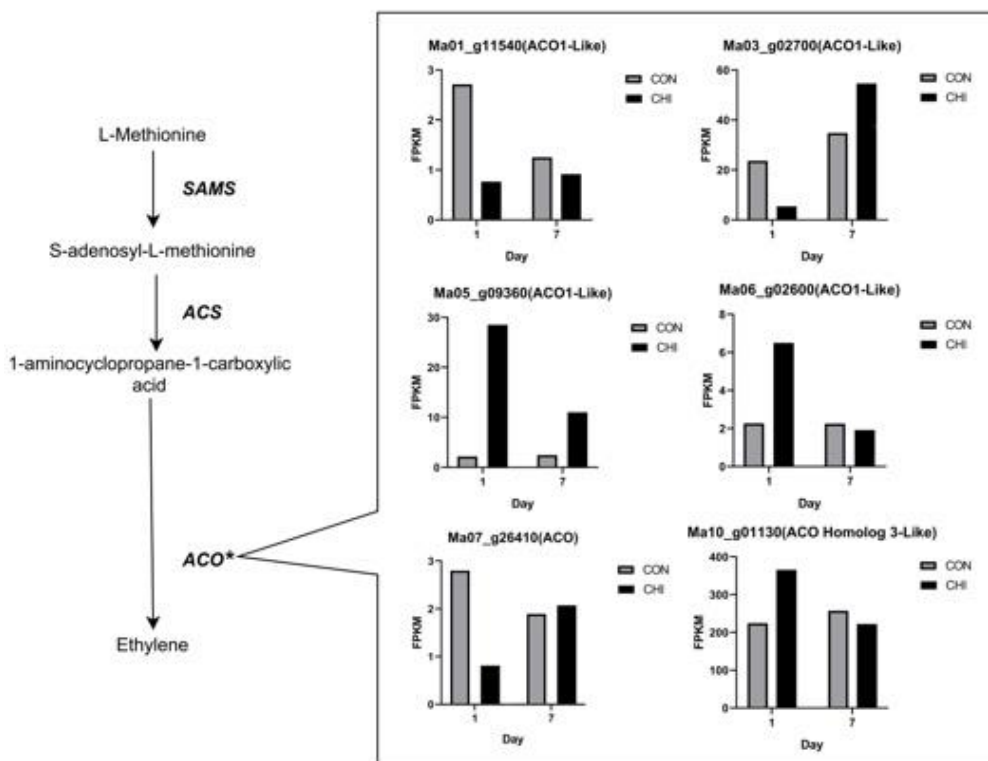
Sementara itu, selama pematangan buah pisang biasanya terjadi akumulasi asam α -ketoglutarat yang dikenal pula sebagai asam 2-ketoglutarat atau 2-oksoglutarat, yang terkait jalur metabolisme energi dalam siklus TCA

atau produksi hormon giberelin yang berperan pada pematangan buah. Namun, rendahnya ekspresi gen-gen pada jalur TCA pada pisang dengan perlakuan kitosan dari hasil studi transkriptomik diduga berhubungan dengan hasil analisis metabolomik yang menunjukkan rendahnya α -ketoglutarat yang ada di siklus TCA. Diduga stres abiotik oleh pelapisan kitosan pada buah pisang menjadi penyebab penurunan akumulasi asam α -ketoglutarat (Xiong dkk. 2018; Araujo dkk., 2014 dan Yun dkk., 2019).

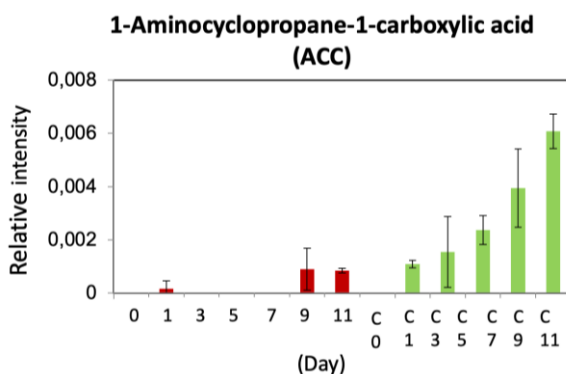
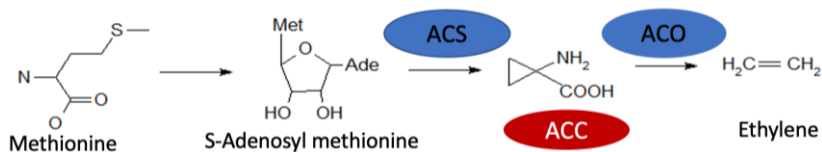
Selain kedua studi omiks di atas, kami melakukan analisis profil mikroba pada daging buah dan kulit pisang dengan pendekatan metagenomik dan metatranskriptomik menggunakan teknologi NGS. Hasil analisis menggunakan pendekatan metagenomik menunjukkan terdapat genus dominan, yaitu *Alcaligenes*, *Pseudomonas*, *Acinetobacter*, dan *Thermus* dan perlakuan penyalutan kitosan menurunkan kelimpahan genus dominan tersebut terutama di daging buah. Sementara itu, hasil analisis dengan pendekatan metatranskriptomik menunjukkan terdapat kelimpahan mikroba yang dominan di tingkat genus, yaitu *Staphylococcus*, *Acinetobacter*, *Paenarthrobacter*, *Streptomyces*, *Serratia*, *Candidatus*, *Pseudomonas*, *Vibrio*, *Enterococcus*, dan *Paenibacillus*. Analisis profil ekspresi gen menunjukkan bahwa terjadi perubahan ekspresi diferensial dari gen bakteri pada buah yang dilapisi kitosan selama tujuh hari pematangan. Gen-gen yang berperan dalam menoleransi cekaman oksidatif, cekaman osmolaritas, serta akuisisi nutrisi adalah gen-gen terkait respons stres yang mengalami perubahan ekspresi secara signifikan selama pematangan buah yang dilapisi kitosan.



Gambar 3.6 Perubahan ekspresi gen sebagai efek penyalutan kitosan pada buah pisang terhadap jalur -jalur metabolisme pati dan sukrosa serta asam sitrat (Dwivany dkk., 2023)



Gambar 3.7 Perubahan ekspresi gen sebagai efek penyalutan kitosan pada buah pisang terhadap jalur -jalur sintesis etilen (Dwivany dkk., 2023)

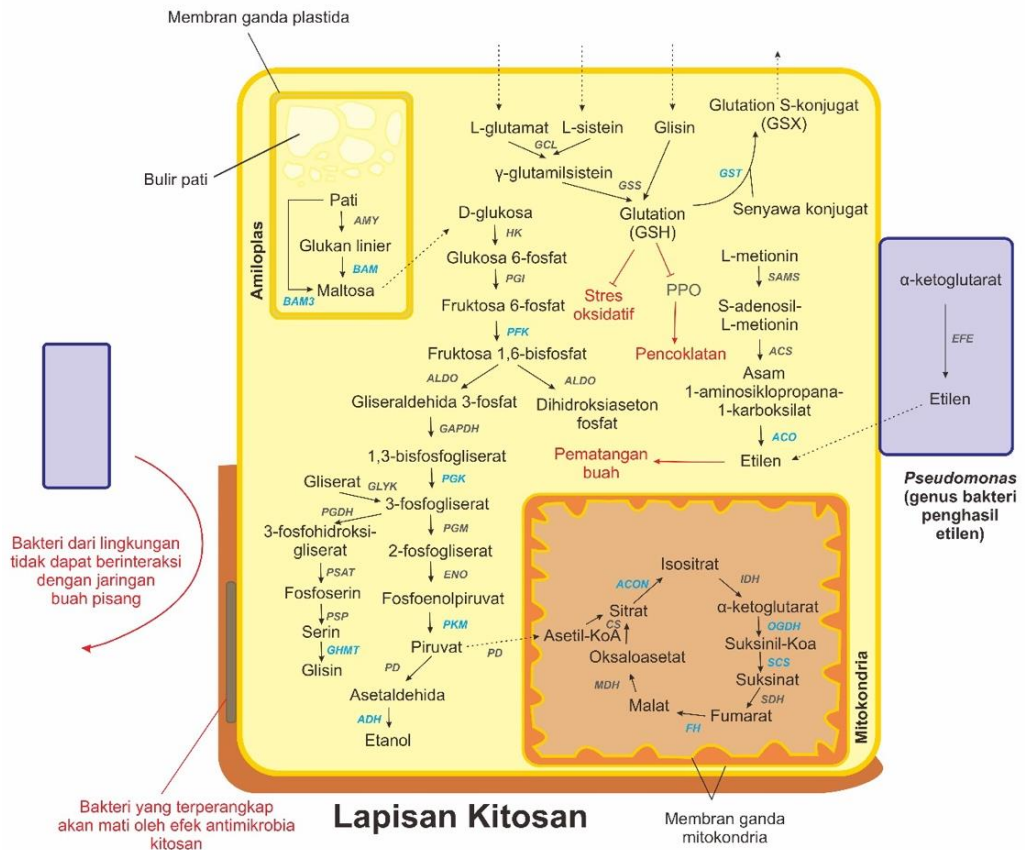


Gambar 3.8 Perlakuan kitosan menghasilkan penumpukan metabolit ACC yang menjadi prekursor etilen (Parijadi dkk. 2022)

Salah satu genus mikroba yang konsisten terdeteksi pada analisis dengan pendekatan metagenomik dan metatranskriptomik adalah *Pseudomonas*. Kelimpahan yang lebih tinggi dari genus *Pseudomonas* pada pisang yang belum matang diduga terkait dengan kemampuan bakteri tersebut untuk menghasilkan etilen (Freebairn & Buddenhagen, 1964). Secara alami, etilen diproduksi oleh tanaman dari metionin melalui konversi dari S-adenil-L-metionin (SAM) menjadi ACC dengan enzim ACC sintase, kemudian ACC oksidase akan mengkatalisis pelepasan oksidatif etilen. Namun pada mikroba beberapa strain menghasilkan etilen baik secara spontan melalui oksidasi asam α -keto- γ -metilthiobutirat (KMBA) atau dengan menggunakan α -ketoglutarat (AKG) dan arginin sebagai substrat dalam reaksi yang dikatalisis oleh enzim pembentuk etilen (atau *Ethylene Forming Enzyme*, EFE) (Eckert dkk., 2014). Pada buah pisang yang dilapisi dengan kitosan, kelimpahan genus *Pseudomonas* berkurang dibandingkan dengan kontrol. Kitosan memiliki aktivitas antimikroba yang efektif menghambat pertumbuhan bakteri karena molekul kitosan dapat membentuk interaksi elektrostatik antara muatan positif kitosan dan gugus negatif pada dinding sel bakteri (Tachaboonyakiat, 2017). Hal ini juga diduga berkontribusi pada penundaan pematangan buah pisang yang dilapisi kitosan karena pengurangan genus *Pseudomonas* akan mengurangi produksi etilen oleh bakteri. Meskipun demikian, tingkat kontribusi mikroba terhadap produksi etilen dalam proses pematangan dibandingkan dengan etilen yang dihasilkan oleh tanaman itu sendiri perlu dianalisis lebih lanjut. Sebagai rangkuman analisis multi-omiks, kami mengajukan skema mekanisme efek kitosan terhadap proses pematangan buah (Gambar 3.9).

Jalur metabolisme yang terpengaruh oleh penyalutan kitosan adalah respirasi karbohidrat, pembentukan asam amino glisin, pembentukan etilen, pembentukan glutathione yang menghambat stres oksidatif dan enzim polifenol oksidase (PPO) yang menyebabkan pencokelatan buah, serta interaksi dengan *Pseudomonas* di lingkungan sel. Penjelasan dengan huruf dan garis merah menunjukkan efek kitosan pada proses yang mengalami penghambatan dan ekspresi gen yang menurun. Gen dengan tulisan dengan warna biru merupakan gen yang sudah diteliti di pengamatan transkriptomik buah pisang. Garis titik-titik menunjukkan perpindahan senyawa lintas organel maupun sel. Garis panah menunjukkan proses, dan garis berbentuk T (lihat

antara glutathion dan PPO) menunjukkan penghambatan. (Dwivany dkk., 2023).



Gambar 3.9 Skema mekanisme efek kitosan terhadap proses pematangan buah.

3.4 Potensi Buah Pisang sebagai Penghasil Lektin dan Karoten Berdasarkan Analisis Omiks

1. Lektin

Salah satu molekul penting yang terkandung dalam buah pisang adalah lektin, protein yang mampu mengikat karbohidrat. Lektin pada pisang (BanLec) memiliki karakteristik mampu mengikat glukosa/manosa sehingga mampu mencegah invasi mikroba (Wearne dkk., 2013 dan Meagher dkk., 2005). BanLec telah dilaporkan pula memiliki potensi sebagai agen antivirus baru dan dapat menjadi salah satu kandidat yang baik sebagai agen anti-SARS-CoV-2. Konsentrasi lektin pada tanaman, termasuk pisang, umumnya rendah tanpa adanya faktor penginduksi. Faktor yang dapat memengaruhi

konsentrasi lektin pada pisang antara lain adalah pematangan buah. Selain itu, diketahui bahwa induksi kitosan dapat meningkatkan konsentrasi lektin pada membran kloroplas tembakau (Babosha, 2008). Saat ini, walaupun biosintesisnya telah diketahui dapat diinduksi oleh beberapa faktor, namun mekanisme sintesis lektin belum diketahui.

Kami melakukan studi untuk mengetahui efek pelapisan kitosan 1,25% terhadap ekspresi gen lektin selama pematangan buah pisang Cavendish dengan menggunakan pendekatan transkriptomik. Hasil analisis menunjukkan terdapat 14 gen lektin yang diinduksi selama pematangan buah. Seiring berjalannya hari pematangan, lektin diduga berperan dalam fosforilasi protein dan meningkatkan proses pengikatan karbohidrat. Selain itu, pelapisan kitosan dapat meningkatkan ekspresi 17 gen lektin. Hasil analisis fungsional menunjukkan bahwa gen lektin yang diinduksi oleh kitosan diduga terlibat dalam pertahanan tanaman. Hasil analisis ekspresi gen tersebut kemudian divalidasi secara kuantitatif dengan qPCR, terutama pada dua gen yang paling signifikan terpengaruh oleh kitosan. Hasil studi ini menunjukkan bahwa selain proses pematangan, kitosan merupakan senyawa yang dapat meningkatkan ekspresi gen yang berperan pada biosintesis BanLec.

Penelitian ini dapat menjadi dasar untuk meningkatkan ekspresi gen lektin pada tanaman, mengingat lektin tanaman berpotensi untuk diaplikasikan di bidang kesehatan. Hasil studi ini didukung dengan studi kami lainnya untuk menyeleksi protein BanLec dan memodifikasinya dengan mutagenesis *in silico* agar diperoleh kandidat terbaik agen anti-SARS-CoV-2. Namun, diperlukan penelitian lebih lanjut secara *in vitro* dan *in vivo* untuk menguji kemampuan BanLec sebagai agen antivirus yang potensial dan aman.

2. Karoten

Salah satu senyawa bioaktif yang banyak terkandung dalam buah pisang Cavendish adalah karotenoid (DanDan dkk., 2018). Karotenoid merupakan pigmen utama dalam jaringan tanaman yang menghasilkan warna kuning, oranye, dan merah yang khas. Berdasarkan komposisi kimiawi penyusunnya, senyawa karotenoid yang dibentuk secara eksklusif dari rantai karbon dan atom hidrogen dikenal dengan istilah karoten sedangkan senyawa karotenoid yang mengandung oksigen dalam komposisi kimiawi penyusunnya dikenal dengan istilah xantofil. Karoten yang terdapat dalam buah pisang berkisar

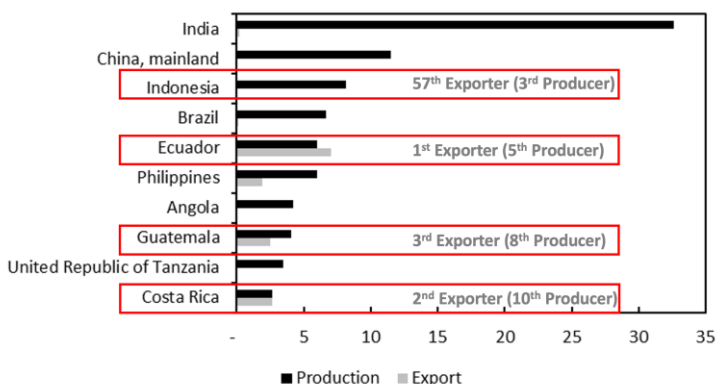
antara 16-105 $\mu\text{g/g}$ berat buah segar. Sementara itu, total karoten pada buah pisang kultivar Cavendish adalah 54 $\mu\text{g/g}$ berat buah segar sehingga pisang kultivar Cavendish dapat digolongkan ke dalam buah dengan kandungan karoten yang tinggi (Singh dkk., 2016). Studi mengenai isolasi dan karakterisasi karoten pada pisang telah banyak dilaporkan, namun studi terkait ekspresi gen yang terlibat pada biosintesis karoten secara global pada pisang masih sangat minim. Baru-baru ini, terdapat studi terkait karoten pada buah pisang Xianfen 1 banana menggunakan pendekatan transkriptomik dan metabolomik yang menunjukkan bahwa kadar karoten meningkat pada buah yang matang dibandingkan yang mentah. Diduga hal ini sejalan dengan peningkatan ekspresi gen dan faktor transkripsi gen yang terkait regulasi enzim likopen- β siklase (LCYB), enzim kunci yang mengkatalisis biosintesis β dan β karoten (Dong et al. 2022).

Studi yang kami lakukan pada pisang Cavendish selama pematangan buah menggunakan pendekatan transkriptomik menunjukkan terdapat 10 gen terkait jalur metabolisme karotenoid pada pisang kultivar Cavendish yang berkorelasi dengan pematangan buah. Selain analisis transkrip, telah dilakukan pula pengamatan kondisi fisikokimia buah pisang serta konfirmasi ekspresi gen secara kuantitatif dengan metode qPCR. Gen-gen pengode enzim likopen ε -siklase (LCYE) dan LCYB (likopen β -siklase) yang berperan pada pembentukan α -karoten dan β -karoten secara konsisten mengalami peningkatan ekspresi pada buah pisang yang matang. Diperlukan studi lanjut untuk mengkonfirmasi hubungan profil ekspresi gen dengan kadar karoten. Tentunya, pemahaman tentang perubahan yang dinamis pada kadar karoten dan level ekspresi gen yang terkait biosintesisnya pada buah dapat dijadikan acuan untuk melakukan persilangan pisang subgroup tertentu dengan kadar karoten yang tinggi.

4. PENUTUP

Indonesia merupakan negara kepulauan terbesar di dunia dan dikenal sebagai negara mega-biodiversitas. Namun dengan jumlah penduduk yang menempati urutan keempat dunia, Indonesia memiliki tantangan terkait penyediaan pangan. Kekayaan alam yang berlimpah yang dimiliki Indonesia memiliki potensi dalam mengembangkan pangan untuk mendukung ketahanan pangan di tingkat nasional maupun global. Oleh karena itu, riset di bidang pangan menjadi sangat penting untuk menghasilkan produk maupun teknologi unggulan Indonesia. Masalah pascapanen buah-buahan merupakan satu masalah di bidang pertanian Indonesia. Melimpahnya produksi buah-buahan yang tersebar di seluruh kepulauan Nusantara tidak dibarengi dengan pengetahuan merata mengenai proses pematangan buah dan penanganan pascapanen yang memadai. Tidak hanya kuantitas, melainkan juga kualitas buah yang baik menjadi keharusan untuk dapat memenuhi kebutuhan nasional. Lebih jauh lagi, untuk menjadi negara pengekspor, diperlukan pula teknologi pascapanen yang sesuai untuk menghasilkan buah berkualitas. Oleh karena itu, hasil riset pascapanen buah-buahan Indonesia sangat penting untuk meningkatkan daya saing Indonesia secara global.

Pisang merupakan salah satu buah yang dikonsumsi secara global. Sebagai salah satu produsen pisang terbesar di dunia, tidak otomatis menjadikan Indonesia sebagai negara pengekspor pisang utama (Gambar 4.1).



Gambar 4.1 Produksi dan ekspor pisang di dunia (FAO, 2020)

Salah satu yang menjadi penyebab hal tersebut adalah masalah pascapanen karena pisang merupakan buah klimakterik yang

pematangannya relatif cepat sehingga diperlukan metode untuk mengatur proses pematangannya agar dapat disimpan lebih lama. Kekayaan alam Indonesia telah menginspirasi kami untuk dapat mengembangkan teknologi pascapanen dengan memanfaatkan berbagai material mempelajari mekanismenya dalam memperpanjang masa simpan buah. Perkembangan keilmuan biologi molekuler membuka pintu luas untuk dapat memahami mekanisme molekuler yang terjadi pada pematangan buah serta menjadi dasar pengembangan teknologi pascapanen untuk memperpanjang masa simpan buah.

5. UCAPAN TERIMA KASIH

Puji syukur kami panjatkan kehadirat Allah Swt., karena atas rahmat dan ridanya kami memperoleh amanah Guru Besar ini. Semoga kami dapat mengemban sebaik-baiknya. Amin Ya Rabal Alamin.

Ucapan terima kasih dan penghargaan kami sampaikan kepada Pimpinan, Forum Guru Besar, Senat Akademik dan Civitas Akademika Institut Teknologi Bandung atas kesempatan, kepercayaan dan dukungan yang diberikan untuk melaksanakan tugas Tri Dharma sejak menjadi CPNS tahun 1999.

Ucapan terima kasih dan penghargaan kami sampaikan pula kepada pimpinan dan seluruh mitra atas kerja sama serta dukungannya sehingga kami dapat melaksanakan kegiatan Tridharma yang berkelanjutan. (*Center of Remote Sensing*-ITB, Pusat Penelitian Biosains dan Bioteknologi-ITB, Pusat Penelitian Teknologi Informasi dan Komunikasi-ITB, Pusat Penelitian Nanoteknologi-ITB serta Fakultas yang ada di lingkungan Institut Teknologi Bandung, PT Indofood Sukses Makmur Tbk., Tim Pakar Indofood Riset Nugraha, PT L'Oreal Indonesia, L'Oreal UNESCO For Women in Science, PT Sewu Segar Nusantara, Banana Smart Village, BRIN, Osaka University, QUT-Australia dan The University of Melbourne, Australia, UGM, Unsrat, UPI, UNPAD, ForMIND, ForMIND Institute, INABIG dan ALMI).

Ucapan terima kasih dan penghargaan kami sampaikan pula kepada Dekanat, Senat dan kolega dosen, tenaga kependidikan, asisten, dan mahasiswa Sekolah Ilmu dan Teknologi Hayati-Institut Teknologi Bandung atas kerja sama, dukungan dan semangat kekeluargaan selama ini.

Ucapan terima kasih dan penghargaan, kami sampaikan pula kepada kolega dosen dan asisten Kelompok Keilmuan Genetika dan Bioteknologi Molekuler SITH ITB atas kerja sama, dukungan keilmuan dan moril, dan persahabatan yang tiada henti.

Ucapan terima kasih dan penghargaan juga kami sampaikan pula kepada kolega dosen, peneliti, asisten, alumni, dan mahasiswa *The Banana Group* dan *Marine Genome Group*, Institut Teknologi Bandung atas kerja sama, dukungan yang tulus, segala jerih payah, dan semangat yang luar biasa. Setapak demi setapak 20 tahun perjalanan kita lalui bersama sejak 2004.

Ucapan terima kasih dan penghargaan juga kami sampaikan kepada seluruh guru untuk ilmu dan bimbingan yang diberikan juga untuk teman-teman sekolah yang selalu menyemangati dan membuat hidup berwarna.

Ucapan terima kasih dan sayang sebesar-besarnya untuk para sahabat, kerabat dan keluarga besar Syamsuddin, Moeis, dan Rodjak yang selalu mendampingi, memberikan semangat serta mendukung perjalanan saya walaupun tidak selalu dapat hadir secara fisik. Untuk orang tua, adik-adikku, dan keluarga kecilku: Suami dan anakku.

Semoga Allah Swt. membalas berlipat-libat semua kebaikan yang telah diberikan. Doa terbaik untuk semuanya. Amin YRA.

DAFTAR PUSTAKA

- Ahmad S, Thompson AA, Mahmood Khan, Chatha GM, Shahid MA (2001) Effect of Reduced O₂ and Increased CO₂ (Controlled Atmosphere Storage) On The Ripening and Quality of Ethylene Treated Banana Fruit. International Journal of Agriculture & Biology Vol. 3 No. 4.
- Angeli D, Razack A, Jijakli MH, Pertot I dan Massart S. 2019. Postharvest Biology and Technology Insights gained from metagenomic shotgun sequencing of apple fruit epiphytic microbiota. Postharvest Biology and Technology, 153(March), 96–106.
<https://doi.org/10.1016/j.postharvbio.2019.03.020>
- Babosha AV. 2008. Inducible lectins and plant resistance to pathogens and abiotic stress. Biochemistry (Moscow). DOI: 10.1134/S0006297908070109.
- Brizzolara S, Hertog M, Tosetti R, Nicolai B dan Tonutti P. 2018. Metabolic Responses to Low Temperature of Three Peach Fruit Cultivars Differently Sensitive to Cold Storage. Frontiers in Plant Science 9 (May): 1–16.
<https://doi.org/10.3389/fpls.2018.00706>.
- Calberto G, Staver C dan Siles P. 2015. An assessment of global banana production and suitability under climate change scenarios. In Aziz Elbehri (Ed.), Climate change and food systems: global assessments and implications for food security and trade (Issue October 2017). Food Agriculture Organization of the United Nations (FAO).
- Charoenshap B, Uthaibutra J, Kumpoun W. 2012. Titanium dioxide photocatalytic oxidation on storage life extension of *Mangifera indica* cv. Nam dork mai. Agric Sci J. 43(3):331–334.
- Daniells J. 2001. Musalogue: A Catalogue of Musa Germplasm: Diversity in The genus *Musa*. Bioversity International.
- De Langhe E, Vrydaghs L, De Maret P, Perrier X, Denham T. 2009. Why Bananas Matter: an Introduction to The History of Banana Domestication. Ethnobotany Research and Applications, 7, 165.
- D'Hont A, Denoeud F, Aury JM. dkk. 2012. The banana (*Musa acuminata*) genome and the evolution of monocotyledonous plants. Nature 488, 213–217. <https://doi.org/10.1038/nature11241>.
- Droc G, Larivière D, Guignon V, Yahiaoui N, This D, Garsmeur O, Dereeper A, Hamelin C, Argout X, Dufayard JF, Lengelle J, Baurens FC, Cenci A,

- Pitollat B, D'Hont A, Ruiz M, Rouard M, Bocs S. 2013. The banana genome hub. Database (Oxford). May 23;2013:bat035. doi: 10.1093/database/bat035. PMID: 23707967; PMCID: PMC3662865.
- Dwivany FM, Wikantika K, Sutanto A, Ghazali, MF, Lim C, Kamalesha G. 2021. Pisang Indonesia. Penerbit ITB. ISBN 978-623-297-113-4.
- Dwivany FM, Stefani G, Sutanto A, Nugrahapraja A, Wikantika K, Hiariej A, Hidayat T, Rai IY, Sukriandi N. 2020. Genetic Relationship between Tongka Langit Bananas (*Musa troglodytarum* L.) from Galunggung and Maluku, Indonesia, Based on ITS2. Hayati Journal of Biosciences. 27(3), 258-265.
- Dwivany FM, Nugrahapraja H, Fukusaki E, Putri SP, Novianti C, Radjasa SK, Fauziah T, Sari LDM. 2020. Dataset of Cavendish banana transcriptome in response to chitosan coating application. Data in Brief. Volume 29, 2020, 105337, ISSN 2352-3409, <https://doi.org/10.1016/j.dib.2020.105337>.
- Dwivany FM, Aprilyandi AN, Suendo V, Sukriandi N. 2020. Carrageenan Edible Coating Application Prolongs Cavendish Banana Shelf Life. Hindawi International Journal of Food Science Volume 2020, Article ID 8861610, 11 pages <https://doi.org/10.1155/2020/8861610>.
- Dwivany FM, Syam F, Nugrahapraja H, Radjasa OK, Moeis MR, Uchiyama S. Dataset of microbial community structure in alcohol sprayed banana associated with ripening process. Data Brief. 2020 Feb 5;29:105216. doi: 10.1016/j.dib.2020.105216. PMID: 32099874; PMCID: PMC7031138.
- Dwivany FM, Esyanti RR, Suendo V, Pratiwi AS, Putri AA. 2019. Analysis of ethylene biosynthesis gene expression profile during titanium dioxide (TiO₂) treatment to develop a new banana postharvest technology. Indonesian Journal of Biotechnology 24(2). 2019. 88-93 | DOI 10.22146/ijbiotech.51718 www.jurnal.ugm.ac.id/ijbiotech
- Dwivany FM, Esyanti RR, Pratiwi AS, Nurrahmah A, Swandjaja L. 2018. Planet Banana: Peeling Scientific Facts of Banana Fruit Ripening. ITB Press. ISBN 978-602-0705-74-3 .
- Dwivany FM, Aulina A. and Pratiwi A. 2018. Effects of Fruit Storage Chamber (FSC) and Chitosan Coating on Cavendish Banana (*Musa acuminata* AAA Group) *MaACO* and *MaACS1* Genes Expression. IOP Conf. Series: Earth and Environmental Science. 19(2018)012002.
- Dwivany FM, Karmawan LU, Sadjuri A. 2018. Metode pengaturan pematangan buah pisang ambon lumut (*Musa acuminata* cv Pisang Ambon Lumut,

AAA Group) dengan Manipulasi Gen yang Berperan. Paten (Granted). IDP000051217.

- Dwivany FM. dkk. 2017. Studi Genetika Molekuler Pematangan Buah. Penerbit ITB. ISBN 978-602- 7861-88-6.
- Dwivany FM, Hermawaty D, Esyanti RR. 2016. "Raja Bulu" banana *MaACS1* and *MaACO1* gene expression during postharvest storage. *Acta Horticulturae*. 1120:111-114.
- Dwivany FM., Esyanti RR, Prapaisie A, Kirana LP, Latief C dan Ginaldi A. 2016. Effect of Microgravity Simulation Using 3D Clinostat on Cavendish Banana (*Musa acuminata* AAA Group) Ripening Process. *Journal of Physics: Conference Series*, Volume 771 (2016) 012045.
- Dwivany F, Esyanti RR, Robertlee J, Paramaputra IC; Permatadewi RK, Tambun DH, Handayani RU, Pratiwi AS, Zaskia H. 2014. Environment effect on fruit ripening related gene to develop a new post harvest technology. *AIP Conference Proceedings* 1589, 285–287.
<https://doi.org/10.1063/1.4868801>
- DanDan Z, Qing Z, GuoXiang J, YueMing J, dan XueWu D. 2018. Regulation of Carotenoid Biosynthesis in Fruits, *Science Foundation in China*, 26(1), 55–66. <https://doi.org/10.16262/j.cnki.1005-0841.2018.01.005>
- Dinsdale EA, Edwards RA, Bailey BA, Tuba I, Akhter S, McNair K, Schmieder R, Apkarian N, Creek M, Guan E, Hernandez M, Isaacs K, Peterson C, Regh T dan Ponomarenko V. 2013. Multivariate analysis of functional metagenomes. *Frontiers in Genetics*, 4(April), pp. 1–25.
<https://doi.org/10.3389/fgene.2013.0004>.
- Dong C, Wang J, Hu Y, Xiao W, Hu H dan Xie J. 2022. Analyses of Key Gene Networks Controlling Carotenoid Metabolism in Xiangfen 1 Banana. *BMC Plant Biology* 22:34. <https://doi.org/10.1186/s12870-021-03415>
- Ebelechukwu MC, Adenubi AI, BI, VI dan Kingsley UI, 2013. Single nucleotide polymorphism (SNP) markers discovery within *Musa* spp (plantain landraces, AAB genome) for use in beta carotene (Provitamin A) trait mapping. *American Journal of Biology and Life Sciences*, 1(1), pp. 11-19.
- El-banna, Mahfouz ME, Leporatti S, El-Kemary M, Hanafy NAN. 2019. Chitosan as a Natural Copolymer with Unique Properties for the Development of Hydrogels. *Applied Science*. 2019, 9, 2193; doi:10.3390/app9112193 www.mdpi.com/journal/applsci.

- Escobar-Zepeda A, De León AVP dan Sanchez-Flores A. 2015. The road to metagenomics: From microbiology to DNA sequencing technologies and bioinformatics. *Frontiers in Genetics*, 6(DEC), pp. 1–15.
<https://doi.org/10.3389/fgene.2015.00348>.
- FAO. 2020. FAO Statistics (FAOSTAT). <https://www.fao.org/faostat/en/#data>. Access: June 22nd, 2023.
- Falcomer AL, Riquette RFR, De Lima BR, Ginani VC, dan Zandonadi RP. 2019. Health benefits of green banana consumption: A systematic review, *Nutrients*, 11(6), 1–22. <https://doi.org/10.3390/nu11061222>
- Handayani RU. 2010. Studi Pola Ekspresi Keluarga Multigen *Ma-ACS* dan Gen *Ma-ACO* pada Tahap Perkembangan Vegetatif dan Proses Pematangan Buah Pisang Ambon (*Musa* sp. AAA group) Menggunakan Metode Real Time PCR (qPCR). [Thesis]. Sekolah Ilmu dan Teknologi Hayati, ITB.
- Hapsari L, Kennedy J, Lestari DA, Masrum A dan Lestarini W. 2017. Ethnobotanical survey of bananas (Musaceae) in six districts of East Java, Indonesia. *Biodiversitas Journal of Biological Diversity*, 18(1).
- Hussain M, Bensaid S, Geobaldo F, Saracco G, Russo N. 2010. Photocatalytic degradation of ethylene emitted by fruits with TiO₂ nanoparticles. *Industrial & Engineering Chemistry Research*. 50(5):2536–2543. doi:10.1021/ie1005756.
- ITIS. 2020. ITIS Standard Report Page: *Musa acuminata*. Itis.gov. Retrieved 26 October 2020, diambil dari https://www.itis.gov/servlet/SingleRpt/SingleRpt?search_topic=TSN&search_value=42390#null.
- Jianglian D. 2013. Application of Chitosan Based Coating in Fruit and Vegetable Preservation: A Review. *Journal of Food Processing & Technology* 04 (05): 5–8. <https://doi.org/10.4172/2157-7110.1000227>.
- Kader A, Zagory D dan Kerbel E. 1989. Modified Atmosphere Packaging of Fruits and Vegetables. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 28(1), p. 1-30.
- Karmawan LU, Suhandono S, Dwivany FM. 2009. Isolation of *Ma-ACS* Gene Family and Expression Study of *Ma-ACS1* Gene in *Musa acuminata* Cultivar Pisang Ambon Lumut. *HAYATI Journal of Bioscience* 16(1), p. 35-39.
- Keller N, Ducamp MN, Robert D, Keller V. 2013. Ethylene removal and fresh product storage: a challenge at the frontiers of chemistry. Toward an approach by photocatalytic oxidation. *Chemical Reviews*. 2013 Jul

- 10;113(7):5029-70. doi: 10.1021/cr900398v. Epub 2013 Apr 16. PMID: 23590210.
- Kennedy J. 2009. Bananas and people in the homeland of genus *Musa*: not just pretty fruit. *Ethnobotany Research and Applications*, 7, 179-197.
- Khoozani AA, Birch and Alaa El-Din Ahmed Bekhit AEA. 2019. *Journal of Food Science and Technology*. 56(2):548–559 <https://doi.org/10.1007/s13197-018-03562-z>
- Kudachikar VB, Kulkarni SG, Keshava Prakash MN. 2011. Effect of Modified Atmosphere Packaging on Quality and Shelf Life of ‘Robusta’ Banana (*Musa* sp.) Stored at Low Temperature. *Journal of Food Science and Technology* 48(3):319- 324.
- LarasatiD, Dwivany FM. dkk. 2021. Alat untuk memperlambat pematangan buah yang menggunakan material kimiawi pemecah etilen, Paten Granted IDS000003520
- Limera C, Sabbadini S, Sweet JB and Mezzetti B. 2017. New Biotechnological Tools for the Genetic Improvement of Major Woody Fruit Species. *Frontiers in Plant Science*. 8:1418. doi: 10.3389/fpls.2017.01418
- Lugrayasa, I. N. 2004. Pelestarian pisang dan manfaat dalam upacara adat hindu Bali. In *Prosiding Seminar Konservasi Tumbuhan Upacara Agama Hindu*.
- Luo Y dan Wang Q. 2013. Recent Advances of Chitosan and Its Derivatives for Novel Applications in Food Science Beverages. *Journal of Food Processing & Beverages* 1 (1): 1–13.
- Lustriane C, Dwivany FM, Suendo V, Reza M. 2018. Effect of chitosan and chitosan-nanoparticles on postharvest quality of banana fruits. *Journal of Plant Biotechnology*. 45:36-44.
- Marchal J. 1998. An Overview of Post-Harvest Aspects of Banana. *Acta horticulturae*, 490(490), p. 501-510. DOI: 10.17660/ActaHortic.1998.490.53.
- Meagher JL, Winter HC, Ezell P, Goldstein IJ, Stuckey JA. 2005. Crystal structure of banana lectin reveals a novel second sugar binding site. *Glycobiology*, 15(10): 1033-1042. DOI: [10.1093/glycob/cwi088](https://doi.org/10.1093/glycob/cwi088).
- Monje O., Stutte G.W., Goins G.D., Porterfield G.E. 2003. Farming in space: environmental and biophysical concerns. *Advance in Space Research* 31(1): 151-167.
- Nelson SC, Ploetz RC dan Kepler AK. 2006. *Musa* species (banana and plantain). *Species profiles for Pacific Island agroforestry*, 15(2), 251-259.

- Nikta M dan Sourı MK. 2019. Effects of Different Levels of Glycine in the Nutrient Solution on the Growth, Nutrient Composition, and Antioxidant Activity of Coriander (*Coriandrum Sativum* L.). *Acta Agrobotanica* 72 (1): 13–16. <https://doi.org/10.5586/aa.1759>.
- Paofa J, Sardos J, Christelova P, Dolez J dan Roux N. 2018. Collection of new diversity of wild and cultivated bananas (*Musa* spp.) in the Autonomous Region of Bougainville, Papua New Guinea. *Genetic Resources and Crop Evolution*, 65, 2267–2286. <https://doi.org/10.1007/s10722-018-0690-x>
- Parijadi AAR, Yamamoto K, Ikram MMM, Dwivany FM, Wikantika K, Putri SP and Fukusaki E. 2022. Metabolome Analysis of Banana (*Musa acuminata*) Treated With Chitosan Coating and Low Temperature Reveals Different Mechanisms Modulating Delayed Ripening. *Front. Sustain. Food Syst.* 6:835978. doi: 10.3389/fsufs.2022.835978.
- Perrier X, De Langhe E, Donohue M, Lentfer C, Vrydaghs L, Bakry F, ... dan Lebot V. 2011. Multidisciplinary perspectives on banana (*Musa* spp.) domestication. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 108(28), 11311-11318.
- Perrier X. 2009. Shed Light on the Evolution of Edible Bananas. *Etnobotany Research & Applications*, 7, 199–216.
- Ploetz RC, Kepler AK, Daniells J dan Nelson SC. 2007. Banana and plantain—an overview with emphasis on Pacific island cultivars. *Species profiles for Pacific island agroforestry*, 21-32.
- Pratiwi A, Dwivany FM, Larasati D, Islamia HC, Martien Ronny. 2015. Effect of Chitosan Coating and Bamboo FSC (Fruit Storage Chamber) to Expand Banana Shelf Life. *AIP Conference Proceedings*, Volume 1677. <https://doi.org/10.1063/1.4930763>
- Prayuni K dan Dwivany FM. 2015. Optimatization of transient transformation methods to study gene expression in *Musa acuminata* (AAA group) cultivar Ambon Lumut. *AIP Conference Proceedings* 1677, 090007 (2015). <https://doi.org/10.1063/1.4930752>
- Qamar S, dan Shaikh, A. 2018. Therapeutic potentials and compositional changes of valuable compounds from banana- A review, *Trends in Food Science and Technology*, 79 (April), 1–9. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2018.06.016>
- Rai IN, Dwivany, FM, Sutanto A, Meitha K, Sukewijaya IM dan Ustriyana ING. 2018. Biodiversity of Bali Banana (*Musaceae*) and its Usefulness. *HAYATI Journal of Biosciences*, 25(2), 47.

- Sambles C, Venkatesan L, Shittu OM, Harrison J, Moore K, Tripathi L, Grant M, Warmington R, Studholme DJ. 2020. Genome sequencing data for wild and cultivated bananas, plantain and abaca. Data in Brief vol 33, December 2020, 10634. <https://doi.org/10.1016/j.dib.2020.106341>
- Saminathan T, García M, Ghimire B, Lopez C, Bodunrin A, Nimmakayala P, Abburi VL, Levi A, Balagurusamy N dan Reddy UK. 2018. Metagenomic and Metatranscriptomic Analyses of Diverse Watermelon Cultivars Reveal the Role of Fruit Associated Microbiome in Carbohydrate Metabolism and Ripening of Mature Fruits. *Frontiers in Plant Science*, 9(January), pp. 1–13. <https://doi.org/10.3389/fpls.2018.00004>
- Simmonds NW & Shepherd K. 1955. The Taxonomy and Origins of The Cultivated Bananas. *Journal of the Linnean Society of London, Botany*, 55(359), 302–312. <https://doi.org/10.1111/j.1095-8339.1955.tb00015.x>.
- Simmonds NW. 1962. The evolution of the bananas. *The Evolution of the Bananas*.
- Simmonds NW dan Shepherd K. 1955. The taxonomy and origins of the cultivated bananas. *Botanical Journal of the Linnean Society*, 55(359), 302–312.
- Surata IK, Gata IW dan Sudiana IM. 2015. Studi Etnobotanik Tanaman Upacara Hindu Bali sebagai Upaya Pelestarian Kearifan Lokal. *Jurnal Kajian Bali*, 05(02), 265–284.
- Perrier X, Bakry F, Jenny C, Horry J, Lebot V & Hippolyte I. 2009. Combining Biological Approaches to Shed Light on the Evolution of Edible Bananas. *Ethnobotany Research & Applications* 7:199–216 (2009).
- Singh B, Singh JP, Kaur A dan Singh N. 2016. Bioactive compounds in banana and their associated health benefits - A review, *Food Chemistry*, 206, 1–11. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2016.03.033>
- Shooshtari Z, Fateme, Souri MK, Hasandokht MR dan Jari SK. 2020. Glycine Mitigates Fertilizer Requirements of Agricultural Crops: Case Study with Cucumber as a High Fertilizer Demanding Crop. *Chemical and Biological Technologies in Agriculture* 7 (1): 19. <https://doi.org/10.1186/s40538-020-00185-5>.
- Suhartanto MR, Harti H, & Haryadi, SS. 2008. Program Pengembangan Pisang. Sulistyaningsih LD & Wawo AH. 2011. Kajian Etnobotani Pisang- Pisang Liar (*Musa spp.*) di Malinau, Kalimantan Timur. *Majalah Ilmiah Biologi BIOSFERA: A Scientific Journal*, 28(1), 43–47.

- Taiz L & Zeiger E. 2006. *Plant Physiology*. 4th ed. Sunderland, MA: Sinauer Associates.
- Valmayor RV, Espino RRC. & Pascua OC. 2002. The wild and cultivated bananas of the Philippines. PARRFI.
- Wearne K, Winter HC, Goldstein IJ. 2013. Isolation of banana lectin-a practical scale procedure from ripe banana fruit. *Preparative Biochemistry and Biotechnology*. DOI: 10.1080/10826068.2012.722578.
- Xia Y, Chiu CH, Do YY dan Huang PL. 2020. Expression Fluctuations of Genes Involved in Carbohydrate Metabolism Affected by Alterations of Ethylene Biosynthesis Associated with Ripening in Banana Fruit. *Plants* 2020, 9, 1120; doi:10.3390/plants9091120
- Xiong R, TangH, XuM, Zeng CB, Peng Y, He R, Yan Z,Qi Z, dan Cheng Y. 2018. Transcriptomic Analysis of Banana in Response to Phosphorus Starvation Stress. *Agronomy* 8 (8). <https://doi.org/10.3390/agronomy8080141>.
- Yamamoto K, Amalia A, Putri SP, Fukusaki E, Dwivany FM. 2018. Expression Analysis of 1-aminocyclopropane-1-carboxylic Acid Oxidase Genes in Chitosan-Coated Banana. *HAYATI Journal Bioscience*. Volume 25 No.1, January 2018
- Yang SF, Hoffman NE. 1984. Ethylene biosynthesis and its regulation in higher plants. *Annu Rev Plant Physiol*. 35:155-189.
- Yi G, Shin H, Min K, Lee EJ. 2021. Expanded transcriptomic view of strawberry fruit ripening through meta-analysis. *PLoS ONE* 16(6): e0252685. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0252685>
- Ze Y, Li T, Gao H, Zhu H, Gupta VK, Jiang Y, dan Duan X. 2019. Integrated Transcriptomic, Proteomic, and Metabolomics Analysis Reveals Peel Ripening of Harvested Banana under Natural Condition. *Biomolecules* 9 (5): 167. <https://doi.org/10.3390/biom9050167>

CURRICULUM VITAE



Nama : Fenny Martha Dwivany
Tempat/tgl lahir: Bandung, 18 April 1972
Kel. Keahlian : Genetika & Bioteknologi Molekuler
Alamat Kantor : Jl. Ganesa 10 Bandung
Nama Suami : Adam Heikal Moeis
Nama Anak : Ananda Dwivano Moeis

I. RIWAYAT PENDIDIKAN

- TK Teratai Mekar, Bandung, 1978
- SDN Banjarsari, Bandung, 1984
- SMPN 2, Bandung, 1987
- SMAN 3, Bandung 1990
- S1 Biologi, FMIPA ITB, 1995
- S2 Biologi, FMIPA ITB, 1998
- S3 Biologi, The University of Melbourne, Australia, 2004

II. RIWAYAT KERJA DI ITB

- Ketua laboratorium Genetika dan Analisis Kromosom, 2004-2012
- Koordinator penelitian dan pengabdian masyarakat SITH ITB, 2012, 2017-2019
- Anggota Tim PAK SITH ITB, 2016, 2018, 2020-2022
- Anggota Board of Reviewer Penelitian, Pengabdian kepada Masyarakat, Inovasi dan kewirausahaan ITB, 2016-2017
- Anggota Tim Implementasi Bio-Industri SITH ITB, 2017
- Ketua Kelompok Keilmuan Genetika dan Bioteknologi Molekuler SITH ITB 2018-sekarang
- Anggota Senat SITH ITB, 2018-sekarang
- Anggota Senat Akademik ITB, 2019-sekarang
- Anggota Komisi Program Pasca Sarjana SITH ITB, 2023-sekarang

III. KEGIATAN PENELITIAN

- The banana ACS and ACO genes isolation and characterization, Peneliti Utama, Bogasari Nugraha VII, Indonesia (funded by PT. Indofood Sukses Makmur Tbk., Indonesia) 2004
- Isolation and cloning of *OsCESA5* gene in *Oryza sativa*, Peneliti Utama, Fundamental Research-Directorate General of Higher Education, Indonesia (Riset Dasar-DIKTI) 2004
- The ihpRNA (silencing) construct for Banana ACS gene, Peneliti Utama, Hibah Kompetitif - Directorate General of Higher Education, Indonesia 2005
- Binary vector construction for Banana ACS gene as an alternative method to control fruit ripening, Peneliti Utama, L'Oreal Unesco FWIS Indonesia 2006
- An Alternative Method to Control Banana Ripening by Silencing the Banana ACO gene, Peneliti Utama, L'Oreal Unesco FWIS International 2007
- *MaACO* gene promoter from pisang ambon for agriculture application, Peneliti Utama, KKP3T-Indonesian Ministry of Agriculture, 2007
- Genetic transformation of *Phalaenopsis amabilis*: soft rot disease resistance, herbicide resistance and glowing in the dark, Anggota, Directorate General of Higher Education, Indonesia 2008
- *MaACS1* gene promoter isolation from pisang (*Musa sp. AAA group*) and binary vector construction using pCambia, Peneliti Utama, Competitive Research Grant, Directorate General of Higher Education, Indonesia (Hibah Kompetisi-DIKTI) 2009-2011
- Gene expression analysis during banana vegetative development and fruit ripening: searching useful gene promoters for agriculture application, Peneliti Utama, National Strategic Research Funds, Directorate General of Higher Education, Indonesia (Hibah Penelitian Strategis Nasional-DIKTI) 2009
- Ground Based Experiment to Study the effect of microgravity and physical factor in fruit ripening, Peneliti Utama, Inter Institution Research Funds, Department of Research and Technology, Indonesia (Hibah Penelitian Antar Lembaga-RISTEK) 2009

- Compatibility study of *Agrobacterium tumefaciens* dan *Agrobacterium rhizogenes* - Andrographis paniculata genetic transformation vector, Anggota, ITB Priority Research (Riset Unggulan ITB-PP Bioteknologi) 2009
- Ground Based Experiment to study Fruit Ripening Process, Peneliti Utama, Inter Institution Research Funds, Directorate General of Higher Education, Indonesia (Hibah Penelitian Antar Lembaga-DIKTI) 2010
- Ground Based Experiment to study effect of space environment on fruit ripening related genes, Peneliti Utama, ITB Priority Research (Riset Unggulan Internasional-ITB) 2010
- Banana transformation preparation and establishment PCR based method to screen gene copy number in banana transgenic plants, Peneliti Utama, Endeavour Research Award- Australia Award 2010
- Alternative method to control fruit ripening using RNA interference technology: banana embryo production for genetic transformation, Peneliti Utama, Faculty for the Future Award, funded by Schlumberger, France 2011-2012
- Isolation and characterization of *Arabidopsis thaliana* genes to produce bacterium resistant plants, Peneliti Utama, ASAHI Glass Foundation 2012
- Developing a New Post Harvest Technology and gene expression study of pisang Raja Bulu, Peneliti Utama, ITB Research Innovation 2013
- Endophyte identification on Musa sp AAA Group for *Fusarium oxysporum* f.sp cubense race 4 systemic resistance induction, Anggota, ITB Priority Research (Riset Unggulan ITB) 2013
- Fruit Storage Chamber as alternative fruit storage for food industry and farmers, Peneliti Utama, MP3EI- Directorate General of Higher Education, Indonesia 2013-2015
- Development postharvest system using nanomaterial on banana fruit as model, Anggota, IPTEK- Directorate General of Higher Education, Indonesia 2014
- The effect of chitosan nanoparticle on fruit ripening for post-harvest application, Peneliti Utama, Japan International Cooperation Agency (JICA) melalui PPNN ITB 2014
- Transformation on Pisang Mas (*Musa acuminata* AA Group) Embryo Culture Suspension using *Agrobacterium Tumefaciens* Strain AGL1, Peneliti Utama, ITB Priority Research (Riset Unggulan ITB) 2014

- Transcriptome and Expression Profile Analysis of Banana Gene that Play a Role in Ethylene Synthesis for Application in Agriculture Field, Peneliti Utama, ASAHI Glass Foundation 2015
- Postharvest technology development using nanoparticle TiO₂, Peneliti Utama, Center of Nano science & Technology- ITB 2015
- Nano-material as bio-degradable material as natural fungicide against *Phytophthora capsici* for chili plants, Anggota, IPTEK- Directorate General of Higher Education, Indonesia 2015-2016
- Nano particle edible coating from *Eucheuma cottoni* for postharvest application, Peneliti Utama, Japan International Cooperation Agency (JICA) melalui PPNN ITB 2015
- The Use of Biomaterial Nano-chitosan as Biofungicide Against *Phytophthora capsici* on six chilies cultivars in West Java Province Indonesia for sustainable agro -industry applications, Peneliti Utama, SEARCA-SEAMEO 2016
- Fruit Storage Chamber as an alternative for postharvest technology, Peneliti Utama, BP3IPTEK – Government of West Java Province 2016
- Expression of ethylene biosynthesis related gene study during fruit ripening delay, Peneliti Utama, Competitive Research Grant, Directorate General of Higher Education, Indonesia (Hibah Kompetisi – DIKTI). 2016-2018
- Biogeography and Biodiversity of Bali Bananas and Its Usefulness, Anggota, Bali International Riset center for Banana 2017
- Identification and characterization diversity of Bali Banana using molecular approach, Peneliti Utama, HIKOM- Directorate General of Higher Education, Indonesia, 2018-2020
- Biodiversity & Biogeography of Bali Banana, Anggota, PTUPT- Directorate General of Higher Education, Indonesia. 2018-2020
- The Transcriptomics Study on Ripening Process of “Klutuk” Banana, Peneliti Utama, ASAHI Glass Foundation 2018
- Database development of banana biodiversity & Biogeography, Peneliti Utama, ITB Research Innovation (Riset Inovasi ITB) 2018
- SIGMA (Genetics & Biodiversity Management System), Genetic variation of Indonesia Banana, Peneliti Utama, ITB Research and Community Development (P3MI) 2018-2020

- Identifikasi dan Karakterisasi Variabilitas Morfologi dan Molekuler Sumber Daya Hayati Pisang di Provinsi Bali Dalam Rangka Peningkatan Mutu Varietas dan Pemanfaatannya, Peneliti Utama, Riset Dikti 2019
- Pembuatan Pustaka Genomik Pisang Eksotik Tongka Langit dari Maluku sebagai Sumber Pangan Masa Depan, Peneliti Utama, Riset Dikti 2019
- Analisis Transkriptomik pada Buah Pisang Tongka Langit (*Musa troglodytarum* L.) yang Disalut Kitosan, Peneliti Utama, P3MI ITB 2019
- Metatranskriptomik pada Proses Pematangan Buah Pisang yang Disalut Kitosan untuk Pengembangan Teknologi Pascapanen, Peneliti Utama, Riset ITB 2019
- Pengadaan Bibit Unggul Pisang Komersial dan Langka Asli Indonesia dengan Inovasi Komposisi Medium Berbasis Teknologi Kultur Jaringan, Anggota, LPIK ITB 2019
- Pengembangan Teknologi Multi-omiks untuk Meningkatkan Kualitas Produk Hayati Indonesia, Anggota, World Class Professor RistekDikti 2019
- Indigenous Banana multiplication using improved *in vitro* method, Anggota, ITB Inovation Research (Riset Inovasi ITB) 2019
- Banana Tongkat langit *Musa Troglodytarum*) Genome Project, Peneliti Utama, Hibah Kompetitif - Directorate General of Higher Education, Indonesia 2019-2020
- *Functional Genomics* gen-gen yang Terlibat dalam Sintesis dan Degradasi Karoten pada Pisang Tongkat Langit *Musa Troglodytarum* (GENOM T) untuk aplikasi pangan, Peneliti Utama, Riset Unggulan ITB 2020
- Design and technology application in banana bark utilization as postharvest zero waste product for community development, Peneliti Utama, Riset Unggulan ITB 2020
- Development of BARIS (Banana Ripening Information System) and nano technology for banana postharvest application, Anggota, PTUPT-Directorate General of Higher Education, Indonesia 2020
- Identifikasi dan Karakterisasi Variabilitas Morfologi dan Molekuler Sumber Daya Hayati Pisang di Provinsi Bali Dalam Rangka Peningkatan Mutu Varietas dan Pemanfaatannya di Provinsi Bali, Peneliti Utama, Riset Dikti 2020
- Keanekaragaman Genetika Pisang Indonesia, Peneliti Utama, P3MI ITB 2020

- Pembuatan Database Genome Laut Dalam (Deep Sea) untuk Eksplorasi Bio-parts dalam Perakitan Plasmid Rekombinan menggunakan Synthetic Biology. Peneliti Utama, Riset Unggulan ITB 2021
- JAVA Trench Metagenomics Data Analysis. Peneliti Utama, Riset Internasional ITB 2021
- Studi Genomik Laut dalam Indonesia untuk Eskplorasi Bioproduk. Anggota, Riset Penelitian Doktor Dikti 2021
- Studi Multi-omics Jalur Karotenoid pada Pisang Cavendish (Genom A) dan Klutuk Wulung (Genom B) untuk Kandidat Pangan Fungsional, Peneliti Utama, P2MI ITB 2021-2022
- Marine-based genome data utilization in ectoine synthesis for future bioindustry application. Peneliti Utama, Riset Unggulan ITB 2022
- Bioprospeksi Laut Indonesia Berbasis Genom. Anggota, Riset Unggulan Pusat & Pusat Penelitian ITB 2022-2023
- Eksplorasi keragaman genetik pisang Indonesia sebagai sumber nutrasetikal dan pangan fungsional : antiviral BanLec menggunakan pendekatan multi-omics, Peneliti Utama, Riset Dikti 2022-2023

IV. PUBLIKASI ILMIAH DI JURNAL BEREPUTASI

- The CELLULOSE-SYNTHASE LIKE C (CSLC) family of barley includes members that are integral membrane proteins targeted to the plasma membrane. **Fenny M Dwivany**, Dina Yulia, Rachel A Burton, Neil J Shirley, Sarah M Wilson, Geoffrey B Fincher, Antony Bacic, Ed Newbigin, Monika S Doblin. Molecular Plant. 2009
- Isolation of *Ma*-ACS Gene Family and Expression Study of *Ma*-ACS1 Gene in *Musa acuminata* Cultivar Pisang Ambon Lumut. Karmawan Listya, Suhandono Sony and **Fenny M Dwivany**. HAYATI Journal of Biosciences. 2009.
- Analysis of *Ma*ACS2, A stress-inducible ACC Synthase Gene in *Musa acuminata* AAA group cultivar pisang ambon. Resnanti Utami Handayani and **Fenny M. Dwivany**. J. Math. Fund. Sci., 2014
- Expression Study of *Le*GAPDH, *Le*ACO1, *Le*ACS1A, and *Le*ACS2 in Tomato Fruit (*Solanum lycopersicum*). Pijar Anugerah, **Fenny M. Dwivany**, Rizkita R Esyanti. HAYATI Journal of Biosciences. 2015.

- Expression Study of Banana Pathogenic Resistance Genes. **Fenny M. Dwivany**, Rizkita R Esyanti, Aksarani Sa pratiwi, Herafi Zaskia. Hayati Journal of Bioscience. 2016
- Gene expression analysis related to ethylene induced female flowers of cucumber (*Cucumis sativus* L.) at different photoperiod. Muhammad Maulana Malikul Ikram, Rizkita Rachmi Esyanti and **Fenny M. Dwivany**. Journal of Plant Biotechnology. 2017
- Metabolic profiling of *Garcinia mangostana* (mangostene) based on ripening stage. Anjaritha AR Parijadi, Sastia P Putri, Sobir Ridwani, **Fenny M. Dwivany**, Eiichiro Fukusaki. Journal of Bioscience and Bioengineering. 2018
- Improved in vitro bioassay for *Musa acuminata* cv. Pisang ambon kuning (AAA group) based on quantitative analysis of necrosis area and biomass changes during Foc4 infection. LU Karmawan, **Fenny M. Dwivany**, RR Esyanti, INP Aryantha. Archives of Phytopathology and Plant Protection. 2018
- Effect of chitosan and chitosan-nanoparticles on post-harvest quality of banana fruits. Cita Lustriane, **Fenny M. Dwivany**, Veinardi Suendo, M Reza Journal of Plant Biotechnology. 2018
- Expression Analysis of 1-aminocyclopropane-1—carboxylic Acid Oxidase Genes in Chitosan-Coated Banana. Kana Yamamoto, Annisa Amalia, Sastia P Putri, Eiichiro Fukusaki, **Fenny M. Dwivany**. Hayati Journal of Biosciences. 2018
- Biodiversity of Bali Banana (Musaceae) and its Usefulness. IN Rai, **Fenny M. Dwivany**, A Sutanto, K Meitha, IM Sukewijaya, ING Ustriyana. HAYATI Journal of Biosciences. 2018.
- Pre-treatment and Suitable Reagent Enabled a Reliable and Consistent for Molecular Detection of *Fusarium oxysporum* f. sp. cubense Tropical Race 4 (Foc4). LU Karmawan, **Fenny M. Dwivany**, RR Esyanti, INP Aryantha. HAYATI Journal of Biosciences. 2019.
- Analysis of ethylene biosynthesis gene expression profile during titanium dioxide (TiO₂) treatment to develop a new banana postharvest technology. **Fenny M. Dwivany**, Rizkita R Esyanti, Veinardi Suendo, Aksarani Sa Pratiwi, Annisa A Putri. Indonesian Journal of Biotechnology. 2019.
- Metabolomics-based approach for the evaluation of off-tree ripening postharvest treatment in mangosteen (*Garcinia magostana*). R Parijadi,

Sobir Ridwani, **Fenny M. Dwivany**, Sastia Prama Putri, Eiichiro Fukusaki. Metabolomics. 2019

- Foliar application of chitosan enhances growth and modulates expression of defense genes in chilli pepper (*Capsicum annuum* L.). Rizkita Rachmi Esyanti, **Fenny M. Dwivany**, Soraya Mahani, Husna Nugrahapraja and Karlia Meitha. Australian Journal of Crop Science AJCS. 2019
- Identification of Banana Plants from Unmanned Aerial Vehicles (UAV) Photos Using Object Based Image Analysis (OBIA) Method (A Case Study in Sayang Village, Jatinangor District, West Java). Agung Budi Harto, Prila Ayu Dwi Prastiwi, Farah Nafisa Ariadji, Deni Suwardhi, **Fenny M. Dwivany**, I Wayan Nuarsa, Ketut Wikantika. HAYATI Journal of Biosciences, 2019.
- Carrageenan Edible Coating Application Prolongs Cavendish Banana Shelf Life. **Fenny M. Dwivany**, Veinardi Suendo, Ayesha Nilam, Nisrina Sukriandi. International Journal of Food Science. 2020
- Isolation and characterization of Pisang Tongka langit (*Musa troglodytarum* L.) *ACS1* and *ACO1* gene expression during fruit ripening proses. **Fenny M. Dwivany**, Kristi Lenci Patty dan Cindy Novianti. Malaysian Applied Biology. 2020
- Possibility of SAP-feeding beetle, Nitidulidae, as a spreading agent for Blood disease bacterium on the banana plant. Tjandra Anggraeni, Masriany, **Fenny M. Dwivany** dan Rizkita R. Esyanti. Malaysian Applied Biology. 2020
- Chitosan suppresses the expression level of WRKY17 on red chili (*Capsicum annuum*) plant under drought stress. Muhammad Abdul Aziz, Rizkita Rachmi Esyanti, Karlia Meitha, **Fenny M. Dwivany**, Hany Husnul Chotimah. Indonesian Journal of Biotechnology. 2020
- Phylogenetic analysis of 23 accessions of Indonesian banana cultivars based on Internal Transcribed Spacer 2 (ITS2) region. Karlia Meitha, **Fenny M. Dwivany**, Intan Fatmawati, Agus Sutanto, Sigit Nur Pratama, Husna Nugrahapraja, Ketut Wikantika. Indonesian Journal of Biotechnology. 2020
- Dataset of microbial community structure in alcohol sprayed banana associated with ripening process. **Fenny M. Dwivany**, Fidya Syam, Husna Nugrahapraja, Ocky Karna Radjasa, Maelita Ramdani Moeis, Susumu Uchiyama. Data in Brief. 2020

- Data on banana transcriptome in response to blood disease infection. **Fenny M. Dwivany**, Husna Nugrahapraja, Aisha Rizky Rahmawati, Dwianthy Putri Meitasari, Audie Masola Putra, Popi Septiani, Nadya Farah, Siti Subandiyah. Data in brief. 2020
- Dataset of Cavendish banana transcriptome in response to chitosan coating application. **Fenny M. Dwivany**, Husna Nugrahapraja, Eiichiro Fukusaki, Sastia Prama Putri, Cindy Novianti Septhy Kusuma Radjasa, Tessa Fauziah, Lutfi Dewi Nirmala Sari. Data in Brief. 2020
- Banana Flower-Insect Interaction: Alpha-Pinene as Potential Attractant for the Insect Vector of Banana Blood Disease. Masriany Masriany, Rizkita R Esyanti, **Fenny M. Dwivany**, Tjandra Anggraeni. HAYATI Journal of Biosciences. 2020
- Genetic Relationship between Tongka Langit Bananas (*Musa troglodytarum* L.) from Galunggung and Maluku, Indonesia, Based on ITS2. **Fenny M. Dwivany**, Giasintha Stefani, Agus Sutanto, Husna Nugrahapraja, Ketut Wikantika, Adriana Hiariej, Topik Hidayat, I. Nyoman Rai, Nisrina Sukriandi. HAYATI Journal of Biosciences. 2020
- Chitosan-based Edible Coating Prolongs *Musa troglodytarum* L. ('Pisang Tongkat Langit') Fruit Shelf-life and Changes the *ACS1* and *ACO1* Gene Expression Profile. Cindy Novianti and **Fenny M. Dwivany**. Pertanika Journal of Tropical Agriculture Science. 2020
- Bali Bananas (*Musa* spp. L.) Genetic Relationship Based on Internal Transcribed Spacer 2 (ITS-2). **Fenny M. Dwivany**, Muhammad Rifki Ramadhan, Carolin Lim, Agus Sutanto, Husna Nugrahapraja, Ketut Wikantika, Sigit Nur Pratama, Karlia Meitha and Aksarani Sa Pratiwi. Pertanika Journal of Tropical Agricultural Science. 2020
- In silico Characterization of the Structure of Genes and Proteins related to β -carotene Degradation in *Musa acuminata* 'DH Pahang' and *Musa balbisiana* 'Pisang Klutuk Wulung'. **Fenny M. Dwivany**, Nisrina Sukriandi, Karlia Meitha, Tatas HP Brotosudarmo. Pertanika Journal of. Tropical. Agriculture. Sci. 2021
- Genome-wide Identification and Characterization of the Pectin Methylesterase (PME) and Pectin Methylesterase Inhibitor (PMEI) Gene Family in the Banana A-genome (*Musa acuminata*) and B-genome (*Musa balbisiana*). Nugrahapraja Husna, AE Putri and **Fenny M. Dwivany**. Research Journal of Biotechnology. 2021

- Comparative Genomics Analysis of the Pathogenesis Related (PR) Genes on two Banana Genomes (A and B Genomes) in Response to Banana Blood Disease Infection. Kenzie Sachisiva Anindita, Popi Septiani and **Fenny M. Dwivany**. Ecology, Environment and Conservation Paper. 2021
- Characterization of Pathogenesis-related Transcriptional Activator Genes (PTI5 and PTI6) from *Musa acuminata* (A Genome) and *Musa balbisiana* (B Genome) using in silico approach. Indah Nurharuni, **Fenny M. Dwivany** and Karlia Meitha. Ecology, Environment and Conservation Paper. 2021
- Comparative Genomics of Copia and Gypsy Retroelements in Threes Banan Genomes: A, B, and S Genomes. SN Pratama, **Fenny M. Dwivany**, H Nugrahapraja. Pertanika Journal of Tropical Agricultural Science. 2021
- Chitosan improving growth in chili (*Capsicum annum* L.) Plants and acting through distinct gene regulation between cultivars. **Fenny M. Dwivany**, Karlia Meitha, Kuswati Kuswati, Rizkita, Estiyanti, Husna Nugrahapraja. Research Journal of Biotechnology. 2021
- *In silico* characterization and comparison of the fruit ripening related betaamylase (BAM) gene family in banana genome A and B. Erdianty Setiabudi, Karlia Meitha, **Fenny M. Dwivany**. Indonesian Journal of Biotechnology. 2021
- Transcriptome dataset of ethylene-treated Klutuk Wulung banana. **Fenny M. Dwivany**, Nugrahapraja H, Sari LDN, Putri RR, Novianti C. Data Brief. 2021
- In silico Comparisons of the Ethylene Response Factor 1 (ERF1) Gene Between Malaysian Wild Banana (*Musa acuminata* ssp. *malaccensis*) and Pisang Klutuk Wulung (*Musa balbisiana*). Gede Kamalesha, **Fenny Martha Dwivany**, Husna Nugrahapraja and Rika Rahma Putri. Pertanika. 2022
- Marine Microbial-Derived Resource Exploration: Uncovering the Hidden Potential of Marine Carotenoids. Ray Steven, Zalfa Humaira, Yosua Natanael, **Fenny M. Dwivany**, Joko P. Trinugroho, Ari Dwijayanti, Tati Kristianti, Trina Ekawati Tallei, Talha Bin Emran, Heewon Jeon, Fahad A. Alhumaydhi, Ocky Karna Radjasa, and Bonglee Kim. Marine Drugs. 2022
- Integrated Studies of Banana on Remote Sensing, Biogeography, and Biodiversity: An Indonesian Perspective. Ketut Wikantika, Mochamad Firman Ghazali, **Fenny Martha Dwivany**, Cindy Novianti, Lissa Fajri Yayusman and Agus Sutanto. Diversity. 2022

- Metabolome Analysis of Banana (*Musa acuminata*) Treated With Chitosan Coating and Low Temperature Reveals Different Mechanisms Modulating Delayed Ripening. *Frontiers in Sustainable Food Systems*. Anjaritha Aulia Rizky Parijadi, Kana Yamamoto, Muhammad Maulana Malikul Ikram, **Fenny M. Dwivany**, Ketut Wikantika, Sastia Prama Putri, and Eiichiro Fukusaki. 2022
- Computational prediction of the effect of mutations in the receptor-binding domain on the interaction between SARS-CoV-2 and human ACE2. Celik I, Khan A, **Fenny M Dwivany**, Fatimawali, Wei DQ, Tallei TE. *Molecular Diversity*. 2022
- In Silico Characterization of Lycopene Beta Cyclase (LCYB) and Lycopene Epsilon Cyclase (LCYE) Genes from DH-Pahang (*Musa acuminata*, A Genome) and DH-PKW (*Musa balbisiana*, B Genome). I Putu Prakasa Wiprayoga, Karlia Meitha, **Fenny M. Dwivany**. *Journal of Tropical Life Science*. 2023
- Vertical profile of culturable bacteria from the Makassar Strait, Indonesia. Zen Ladestam Siallagan, Tati Kristianti, **Fenny Martha Dwivany**, Husna Nugrahapraja, Charlie Ester De Fretes, Muhammad Fadli, Joko Pebrianto Trinugroho, Ocky Karna Radjasa, R Dwi Susanto. *Biodiversitas*. 2023
- Revealing disease-specific endogenous target mimic of microRNA from long non-coding RNA identification and characterization in *Musa* spp. Audie Masola Putra, Husna Nugrahapraja, **Fenny M. Dwivany**. *Indonesian Journal of Biotechnology*. 2023

V. BUKU

- Pematangan Buah (*Fruit Ripening*) dalam Buku Bunga Rampai ForMIND. **Fenny M. Dwivany** and Dina Hermawaty. Penerbit ITB. Bandung. Tahun terbit 2016. ISBN 9786027861527
- Studi Genetika Molekuler Pematangan Buah. **Fenny M. Dwivany**, Resnanti U Handayani, Karlia Meitha, Dina Hermawati, Ayukreina S Prahesti. Penerbit ITB Bandung. Tahun terbit: 2017. ISBN 9786027861886
- Pentingnya Data Pisang Indonesia dalam Buku Bunga Rampai ForMIND. **Fenny M. Dwivany** and Anniza Nurrahmah. Penerbit ITB. Bandung. Tahun terbit 2017. ISBN: 9786025417375
- Planet Banana: Peeling the Scientific Facts of Fruit Ripening **Fenny M. Dwivany**, Rizkita R. Esyanti, Anniza Nurrahmah, Aksarani

Sa'Pratiwi dan Leonita Swandjaja. Penerbit ITB. Bandung. Tahun terbit: 2018. ISBN 9786020705743

- Aplikasi senyawa fotokatalis untuk memperpanjang umur buah dalam Buku Bunga Rampai ForMIND. **Fenny M. Dwivany**, Rizkita R. Esyanti and Annisa Ayu Putri Hermawati. Penerbit ITB. Bandung. Tahun terbit 2018. ISBN: 9786020705194
- Pisang Indonesia. **Fenny M. Dwivany**, Ketut Wikantika, Agus Sutanto, M. Firman Ghazali, Gede Kamalesha. Penerbit ITB. Bandung. Tahun terbit: 2019. ISBN 9786232971134
- Peluang dan Tantangan Pemanfaatan Teknologi Penginderaan Jauh untuk Monitoring Biodiversitas Tumbuhan di Indonesia dalam Buku Bunga Rampai Sains dan Teknologi ITB Seratus Tahun Ketut Wikantika, **Fenny M. Dwivany** and Tri Muji Susantoro. Penerbit ITB. Bandung. Tahun terbit 2019. ISBN: 9786237365620
- Potensi β -karoten pada Buah Pisang untuk Meningkatkan Sistem Imun Tubuh Selama Menghadapi Masa Pandemi COVID-19 dalam Buku Bunga Rampai ForMIND. **Fenny M. Dwivany**, Cindy Novianti, Nisrina Sukriandi, Amalia Heryani. Penerbit ITB. Bandung. Tahun terbit 2020. ISBN: 9786232970700
- Molecular Diagnostics. Sony Suhandono, Karlia Meitha, **Fenny M. Dwivany**, Popi Septiani, Tati Kristianti, Linda Wati, Elfina M. Karima, Kenzie S. Anindita, Aisha R. Rahmawati, Masriany. ITB Press. 2021. ISBN: 9786232972322

VI. PATEN

- Metode pengaturan pematangan buah pisang ambon lumut (*Musa acuminata* cv Pisang Ambon Lumut, AAA Group) dengan Manipulasi Gen yang Berperan. Paten (Granted). IDP000051217 (2018)
- Alat portable pengukur kematangan pisang; Paten (terdaftar). P00202006137 (2020)
- Alat untuk mengatur pematangan buah dari material bambu yang dikombinasikan dengan material kimiawi pemecah etilen; Paten (Granted). S00201708460 (2021)
- Pakan ikan yang terbuat dari pisang tongkat langit (*Musa troglodytarum*); Paten (terdaftar). P00202102679 (2021)

- Kontainer portable untuk pemantauan dan pengendalian kualitas makanan; Paten (terdaftar) P00202301750 (2023)

VII. ANGGOTA ORGANISASI PROFESI

- Akademi Ilmuwan Musa Indonesia (ALMI), Anggota Kehormatan 2022-sekarang
- Akademi Ilmuwan Musa Indonesia (ALMI), Anggota 2016-2022-
- Forum Peneliti Muda Indonesia (ForMIND), Pembina tahun 2014-sekarang
- International Society for Horticultural Science (ISHS), Anggota 2016-sekarang
- Perkumpulan Biologi Molekuler Indonesia (PBMI), Anggota 2013-sekarang

VIII. PENGHARGAAN

1. Special Achievement Award, The Japanese Society for Biological Sciences in Space 2019 (for involvement in *the first Indonesia Space Biology Research* at KIBO Space Station 2011-2012)
2. International Schlumberger Faculty for The Future Award, Schlumberger Foundation, 2011
3. Endeavour Research Award – Australia Award, Australian government, 2010
4. Internasional L’Oreal Unesco For Women in Science (Mewakili Asia Pacific), L’Oreal Unesco, 2007
5. Penghargaan Bidang Penelitian ITB 2022
6. Satyalencana Karya Satya 20 tahun, Pemerintah Indonesia, 2022
7. Penghargaan Bidang Inovasi ITB 2015
8. Penghargaan Menteri Kesehatan, Biomedical Science & Genome Initiative, 2022
9. Anugrah IPTEK-RISTEK, Pemerintah Republik Indonesia, Peneliti Perempuan Bidang Biologi Molekuler, 2012
10. Satyalencana Karya Satya 10 tahun, Pemerintah Indonesia, 2012
11. Hayati The Best Paper Award, Hayati Journal of Biosciences, 2009
12. ASASI Award for The Best Achievement Award, ASASI, 2007
13. Nasional L’Oreal Unesco For Women in Science, L’Oreal Unesco, 2006
14. Bogasari Riset Nugraha, 2004



📍 Gedung STP ITB, Lantai 1,
Jl. Ganesa No. 15F Bandung 40132
☎ +62 22 20469057
🌐 www.itbpress.id
✉ office@itbpress.id
Anggota Ikapi No. 043/JBA/92
APPTI No. 005.062.1.10.2018

Forum Guru Besar Institut Teknologi Bandung

Jalan Dipati Ukur No. 4, Bandung 40132
E-mail: sekretariat-fgb@itb.ac.id
Telp. (022) 2512532

🌐 fgb.itb.ac.id [f](#) FgbItb [t](#) FGB_ITB
📱 @fgbitb_1920 [▶](#) Forum Guru Besar ITB

ISBN 978-623-297-309-1

