

## Peran Teknologi Nanopartikel dalam Budidaya, Produksi, dan Pemanfaatan Vanilin dari Tanaman Vanili (*Vanilla planifolia*)

### The Role of Nanoparticle Technology in the Cultivation, Production, and Utilization of Vanillin from Vanilla Plants (*Vanilla planifolia*)

Audri Septina Putri Rimanti\*, Dani Karel Marthin Djurubasa, Sri Kasmiyati,  
Elizabeth Betty Elok Kristiani

Program Studi Magister Biologi, Fakultas Biologi, Universitas Kristen Satya Wacana,  
Jl. Diponegoro No. 52-60, Salatiga, Jawa Tengah, Indonesia, 50711

\*Email: 422024001@student.uksw.edu

Diterima 11 Desember 2024 / Disetujui 24 September 2025

#### ABSTRAK

Aplikasi nanoteknologi, di dunia pertanian maupun kesehatan, kini semakin marak untuk dikembangkan. *Vanilla planifolia* atau tanaman vanili, yang merupakan penghasil senyawa vanilin, memiliki potensi pengaplikasian nanoteknologi. Peningkatan pertumbuhan tanaman dengan menggunakan teknologi nanofertilizer dan peningkatan senyawa metabolit sekunder vanilin dengan menggunakan teknologi nanoelisor dapat memberikan hasil maksimal bagi panen tanaman vanili. Disisi lain, vanilin yang merupakan senyawa aktif pada tanaman vanili juga memiliki khasiat sebagai obat dan bahkan dapat dimanfaatkan dalam bidang kecantikan. Penelitian ini bertujuan untuk menggali peran nanoteknologi yang memiliki potensi pengaplikasiannya pada tanaman vanili, baik pada budidaya tanaman maupun pada pemanfaatan senyawa vanilin dalam bidang kesehatan dan kecantikan. Dari hasil yang didapatkan, nanoteknologi dalam bentuk nanofertilizer memiliki potensi besar dalam meningkatkan pertumbuhan tanaman vanili serta dapat membantu tanaman dalam menghadapi cekaman biotik dan abiotik yang mengganggu pertumbuhannya. Nanoteknologi juga dapat diaplikasikan pada senyawa vanilin, dimana vanilin dalam bentuk nanopartikel berperan sebagai anti-inflamasi, anti-kanker, anti-oksidan, serta berperan sebagai senyawa pengikat alami yang mendukung penyembuhan luka. Kemampuan tersebut dapat dimanfaatkan sebagai nanoteknologi dalam bidang kesehatan serta bidang kecantikan

*Kata kunci : Vanilla planifolia, senyawa vanilin, nanoteknologi, nutraseutikal, kosmeseutikal*

#### ABSTRACT

Applications of nanotechnology, in the agriculture and health sector, are now increasingly being developed. *Vanilla planifolia* or vanilla plants, which are producers of vanillin compounds, have the potential for nanotechnology applications. Increasing plant growth using nanofertilizer technology and increasing vanillin secondary metabolite compounds using nanoelisor technology can provide maximum yield for vanilla plant. On the other hand, vanillin, which is the active compound in the vanilla plant, also has medicinal properties and can even be used in the field of beauty. This research aims to explore the role of nanotechnology that has the potential for application in vanilla plants, both in plant cultivation and in the use of vanillin compounds in the field of health and beauty. From the results obtained, nanotechnology in the form of nanofertilizer has great potential in increasing the growth of vanilla plants and can help plants in dealing with biotic and abiotic stress that interferes with their growth. Nanotechnology can also be applied to vanillin compounds, where vanillin in the form of nanoparticles acts as an anti-inflammatory, anti-cancer, anti-oxidant, and also acts as a natural binding compound that supports wound healing. This ability can be used as nanotechnology in the health and beauty fields

*Keywords: Vanilla planifolia, vanillin compound, nanotechnology, nutraceutical, cosmeceutical*

## PENDAHULUAN

*Vanilla planifolia* atau vanili merupakan salah satu tanaman perkebunan yang masuk dalam kelompok anggrek-anggrekan atau Orchidaceae. Tanaman vanili dikenal dengan ekstraknya yang dimanfaatkan sebagai bahan perisa dan pengharum makanan, aroma terapi, serta memberikan aroma pada rokok. Ekstrak yang dimanfaatkan tersebut merupakan senyawa organoleptik vanilin dengan rumus kimia  $C_8H_8O_3$  (*3-methoxy-4-hydroxybenzaldehyde*) dan tergabung dalam kelompok senyawa fenolik yang tersusun atas gugus fungsi aldehyd, eter, dan fenol (Bachtiar *et al.*, 2020). Senyawa vanilin memiliki struktur kimia berupa polimer pektin sehingga pemisahan senyawanya disinyalir cukup sulit. Penggunaan pelarut organik seperti etil asetat dinilai dapat melarutkan senyawa vanilin dengan baik. Hal ini dipengaruhi oleh sifat semi polar etil asetat yang berperan untuk pengikatan senyawa spesifik aromatik dari komponen fenolik seperti senyawa vanilin (Rohmah *et al.*, 2021). Senyawa vanilin yang ada di pasaran tidak seluruhnya dihasilkan dari biji vanili, sebagian besar masih diperoleh melalui sintesis asam ferulat dan sintesis lignin. Pada ekstrak vanili alami, senyawa vanilin adalah komponen utama penguat aroma dan terdapat 100 hingga 200 komponen volatil yang berperan dalam memperkaya cita rasa dan aroma khas vanili. Sebaliknya, vanili sintetik hanya mengandung etil vanilin atau vanilin saja sehingga profil aromanya kurang kuat. Kualitas buah vanili segar bergantung pada cara budidaya dan faktor lingkungan di lahan perkebunan. Pemeliharaan dan lingkungan yang kurang ideal dapat berdampak pada menurunnya kualitas buah vanili segar. Kadar vanilin merupakan indikator penentu kualitas ekstrak vanili yang sangat dipengaruhi oleh kualitas buah vanili segar dan proses pengolahan maupun ekstraksi pascapanen. Oleh sebab itu, perlu dilakukan upaya untuk meningkatkan kadar vanilin dengan memicu proses pemecahan molekul glukovanilin menjadi vanilin dan glukosa pada proses pengolahan pascapanen (Setyaningsih *et al.*, 2007).

Aplikasi nanopartikel adalah salah satu kajian teknologi modern yang sedang berkembang saat ini karena dapat dimanfaatkan secara luas

dalam berbagai bidang seperti pertanian, kesehatan, dan lingkungan. Dalam dunia pertanian, tujuan penggunaan nanopartikel adalah memaksimalkan hasil produksi pertanian dengan mengoptimalkan pemenuhan nutrisi tanaman, pencegahan hama penyakit, penanganan tanaman terinfeksi, serta peningkatan umur simpan hasil pertanian (Rusly & Rahman, 2023). Nanopartikel dirancang untuk menanggulangi masalah kelarutan bahan aktif yang sukar larut, serta meningkatkan bioavailabilitas yang rendah. Selain itu, nanopartikel juga berfungsi untuk meningkatkan kestabilan bahan aktif agar tidak mudah terdegradasi oleh faktor lingkungan, seperti penguraian enzimatik, oksidasi, dan hidrolisis (Windy *et al.*, 2022). Tujuan dari penelitian ini adalah mengkaji terkait penerapan teknologi nanopartikel dalam budidaya tanaman vanili (*Vanilla planifolia*) serta produksi dan pemanfaatan senyawa vanilin.

## HASIL DAN DISKUSI

### Morfologi, Taksonomi, dan Budidaya Vanili (*Vanilla planifolia*)

Taksonomi tanaman vanili menurut Tjitrosoepomo (2012) adalah sebagai berikut.

Kingdom	: Plantae
Divisi	: Magnoliophyta
Kelas	: Angiospermae
Ordo	: Asparagales
Famili	: Orchidaceae
Genus	: <i>Vanilla</i>
Spesies	: <i>Vanilla planifolia</i>

Vanili (*Vanilla planifolia*) memiliki dua tipe akar, yakni akar pembelit yang melekat pada tonggak atau batang dan akar gantung di udara yang berfungsi menyerap zat hara setelah mencapai tanah. Akar gantungnya berukuran 3 hingga 4 mm tebal dan 1 hingga 2 meter. Batangnya berbuku-buku, silinder, dan licin dengan warna hijau muda, hijau tua, hingga kecoklatan. Batang ini sukulen dan menyimpan air, berdiameter 1 hingga 2 cm dan panjang ruas 5 hingga 15 cm. Daunnya tunggal, jorong pipih, daging, dan tumbuh berselang-seling. Bunga vanili berbentuk terompet dan buahnya berbentuk polong, berdaging, dengan

warna kehijauan hingga kecoklatan (Hastuti *et al.*, 2021).



(Dokumentasi pribadi, 2024)

Budidaya vanili dilakukan dengan metode stek batang dan penanaman benih. Menurut Mudyantini *et al.*, (2024), petani vanili Indonesia cenderung membudidayakan vanili dengan metode stek batang dibandingkan generatif karena lebih mudah dilakukan, sifat anakan sama dengan induk, serta tidak memerlukan biaya yang mahal. Akan tetapi, stek batang memiliki kekurangan karena meningkatkan peluang vanili untuk terserang infeksi *Fusarium*. Stek batang dapat mengganggu pertumbuhan induk tanaman dan menurunkan kapasitas perbanyakan dan memperlambat waktu produksi polong vanili. Perbanyakan komersial melalui stek batang dinilai tidak ekonomis karena mengorbankan seluruh bagian tanaman (Sidek *et al.*, 2018). Perpaduan teknik mikropropagasi dan nanopartikel perak (AgNPs) dapat mencegah kontaminasi atau sebagai antimikroba pada perbanyakan vanili secara *in vitro*, memicu peningkatan senyawa fenolik dan senyawa mineral dalam media MS (Spinoso-Castillo *et al.*, 2017), (Astuti *et al.*, 2021). Penggunaan nanopartikel seperti silika dalam bentuk pupuk cair banyak digunakan untuk meningkatkan proses fisiologi serta ketahanan tanaman, yaitu merangsang penebalan epidermis, penguatan lapisan luar kulit, memicu fungsi organel, meningkatkan pengangkutan nutrisi serta distribusi hasil metabolisme (Zainul *et al.*, 2022). Silika membentuk lapisan pada kutikula tanaman yang

dapat memperlambat penetrasi patogen pada jaringan tanaman sehingga mengokohkan posisi daun yang memungkinkan proses fotosintesis berlangsung dengan lebih baik (Sabatini *et al.*, 2017).

Vanili adalah salah satu rempah-rempah yang memiliki harga jual tinggi dan diperlukan untuk memenuhi kebutuhan industri *flavour*. Menurut Converti *et al.*, (2010), kurang dari 1% produksi senyawa vanilin di dunia berasal dari proses alami tanaman vanili, sedangkan vanilin sintetis mendominasi sisanya. Hal ini didorong oleh biaya produksi senyawa vanilin alami yang jauh lebih mahal dibandingkan vanilin sintetis. Faktor lainnya adalah terbatasnya pasokan buah vanili, hasil panen yang tidak menentu karena pengaruh iklim, budidaya yang kurang intensif, serta proses pengolahan yang panjang (penyerbukan, pemanenan, dan pematangan polong) (Converti *et al.*, 2010). Di sisi lain, penggunaan senyawa vanilin sintetis dalam produk makanan sangat dibatasi karena adanya kekhawatiran terhadap keamanan pangan dan kesehatan. Hal ini berdampak pada melejitnya harga pasar senyawa vanilin alami yang berkualitas selama beberapa tahun terakhir (Halim *et al.*, 2017). Senyawa vanilin alami pada buah vanili segar belum memunculkan aroma atau *flavor*, tetapi baru terbentuk setelah mengalami reaksi enzimatis selama proses *curing*. Prekursor vanilin adalah senyawa koniferosida yang terurai menjadi glukovanilin melalui proses oksidasi. Selama proses *curing*, glukovanilin akan terhidrolisis yang dipicu oleh enzim  $\beta$ -glukosidase untuk menghasilkan senyawa glukosa dan vanilin.

Selain itu, pembentukan vanilin juga dapat terjadi melalui mekanisme alternatif, yaitu glukosida pada vanililalkohol mengalami proses oksidasi menjadi glukovanilin. Terdapat beberapa tipe glukosida yang diubah menjadi senyawa vanilin maupun komponen aroma, antara lain glukovanilin sebagai komponen terbesar dan glukovanililalkohol dengan jumlah lebih sedikit (Ruhnayat, 2003). Peningkatan aktivitas enzim  $\beta$ -glukosidase dapat dilakukan dengan imobilisasi  $\beta$ -glukosidase, yakni membatasi aktivitas enzim dan melindungi dari faktor seperti suhu, pH, maupun keberadaan enzim lain serta mengontrol reaksi untuk mempertahankan efektivitas enzim  $\beta$ -

glukosidase. Nanopartikel magnetik dapat diaplikasikan untuk imobilisasi enzim  $\beta$ -glukosidase, seperti penggunaan nanopartikel Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub> pada penelitian Chen *et al.*, (2014) dan Wang *et al.*, (2018) yang menunjukkan peningkatan stabilitas enzim  $\beta$ -glukosidase dan mampu mempertahankan lebih dari 90% aktivitas awal pada belasan *batch* secara berturut-turut.

### Aplikasi Nanoelisor dan Nanofertilizer dalam Budidaya Vanili (*Vanilla planifolia*)

Nanofertilizer digunakan untuk mengendalikan dan memperlambat pengiriman satu atau lebih nutrisi dalam rangka memenuhi kebutuhan nutrisi tanaman (Zulfiqar *et al.*, 2019). Nanofertilizer memiliki kemampuan untuk meningkatkan pertumbuhan tanaman dengan aplikasi pada biji, akar dan daun, baik secara langsung maupun tidak langsung telah dilakukan dalam beberapa penelitian berikut ini (Tabel 1).

Tabel 1. Pengaruh nanofertilizer terhadap pertumbuhan beberapa tanaman

Nanofertilizer	Tanaman	Efek	Referensi
AgNPs	<i>Vigna unguiculata</i>	Antimikrobia dari <i>X. axonopodis pv. Malvacearum</i> dan bakteri berbahaya lain	Vanti <i>et al.</i> , 2018
AgNPs	Safron	Memacu pertumbuhan akar dan panjang akar, serta meningkatkan berat kering daun dalam paparan stress kelebihan air	Rezvani <i>et al.</i> , 2012
AgNPs	Ketimun	Meningkatkan respirasi, menekan fotorespirasi dan menurunkan fiksasi nitrogen saat terkena stress oksidatif	Konate <i>et al.</i> , 2018
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> NPs	<i>Solanum lycopersicum</i>	Anti mikrobia melawan infeksi Fusarium	Shenasen <i>et al.</i> , 2017
CaNPs	Tomat	Menurunkan efek negatif penghambatan pertumbuhan yang disebabkan oleh stress salinitas	Alharby <i>et al.</i> , 2016
Chitosans-PVA	Tomat	Meningkatkan pertumbuhan tanaman, meningkatkan ekspresi asam jasmonat dan enzim SOD.	Haghighi <i>et al.</i> , 2013
CuNPs	Tomat	Meningkatkan kandungan antioksidan serta membuat buah tidak mudah hancur	Ahmed <i>et al.</i> , 2018
FeNPs	Kacang polong	Meningkatkan output biologi dan benih tanaman	Drotskar <i>et al.</i> , 2016
FeNPs	Ketimun	Memiliki efek dalam meningkatkan biomassa dan aktivitas enzim antioksidan sesuai dengan dosis	Moghaddasi <i>et al.</i> , 2017
NPKNPs	Gandum	Meningkatkan jumlah karbohidrat dalam bulir gandum secara signifikan	Abdel-Aziz <i>et al.</i> , 2018
ZnONPs	<i>Cyamopsis tetragonoloba</i>	Meningkatkan biomassa dan konsentrasi nutrisi serta memberikan peningkatan pada pertumbuhan secara fisiologi	Raliya <i>et al.</i> , 2013
ZnONPs	Kopi arabika	Meningkatkan kecepatan fotosintesis dan meningkatkan biomassa	Rosi <i>et al.</i> , 2019

Pemberian nanofertilizer pada tanaman vanili berpotensi dalam mendukung pertumbuhan vanili, baik masa vegetatif maupun generatif. Efek nanofertilizer pada tanaman juga beragam, tidak hanya sebagai nutrisi tetapi juga anti-mikroba dan anti-fungal sehingga dapat menjadi pembasmi mikroorganisme yang dapat menghambat pertumbuhan dari tanaman. Penelitian dari

Spinoso-Castillo *et al.*, (2017), menunjukkan bahwa, pemberian AgNPs sebagai nanofertilizer, dapat meningkatkan pertumbuhan vanili pada parameter jumlah, panjang tunas, dan berat kering tanaman. Jika dibandingkan tanpa nanofertilizer, tanaman vanili dengan perlakuan nanofertilizer memiliki pertumbuhan 2 kali lipat pada jumlah tunas, 1,5 kali lipat pada panjang tunas, serta 1,5 kali lipat pada

berat basah tanaman. Hal yang sama juga terjadi pada penelitian Solano *et al.*, (2020), dimana pemberian AgNPs sebagai nanofertilizer juga meningkatkan pertumbuhan tanaman vanili sebesar 2 kali lipat pada parameter jumlah tunas, panjang tunas, serta jumlah daun pada tanaman vanili, jika dibandingkan dengan vanili tanpa penambahan nanofertilizer. Spinoso-Castillo *et al.*, (2017) dalam penelitiannya juga melaporkan bahwa nanofertilizer AgNPs memiliki efek anti-mikroba. Hal ini dilihat dari tingkat kontaminasi pada medium *in-vitro* tanaman, dimana vanili dengan perlakuan 50, 100, dan 200 mg/L nanofertilizer tidak terkena kontaminasi pada medium, sedangkan tanaman tanpa perlakuan terdapat kontaminasi sebesar 16,66% pada mediumnya.

### Potensi Aplikasi Nanoelisor

Elisor merupakan molekul yang merangsang respon hipersensitivitas tanaman. Sedangkan elisitasi adalah salah satu metode dalam meningkatkan hasil panen bagi tanaman yang dimanfaatkan senyawa metabolit sekundernya sebagai komoditas. Elisitasi bekerja dengan senyawa asing yang menyebabkan stres pada tanaman sehingga merangsang sistem pertahanan tanaman dan berdampak pada stimulasi tanaman untuk menghasilkan senyawa metabolit sekunder sebagai respon untuk pertahanan terhadap senyawa asing tersebut. Senyawa asing yang dapat menstimulasi produksi senyawa metabolit sekunder tanaman disebut sebagai elisor (Narayani & Srivastava, 2017). Terdapat banyak senyawa yang dapat menjadi elisor, baik senyawa organik maupun anorganik. Namun dalam penelitian terbaru, penggunaan nanopartikel sebagai elisor dapat menstimulasi senyawa metabolit sekunder. Penggunaan nanoelisor dilaporkan dapat menstimulasi produksi senyawa flavonoid. Senyawa diantaranya nanopartikel perak (AgNPs), nanopartikel tembaga (CuNPs) dan tembaga oksida (CuONPs), nanopartikel besi oksida (Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub>NPs), nanopartikel seng oksida (ZnONPs), serta senyawa seperti *carbon nanotube* dan senyawa organik seperti nanopartikel berbasis kitosan (Amer, 2019).

Vanilin merupakan senyawa metabolit yang digolongkan dalam kelompok senyawa fenolik.

Hingga kini, belum ada penelitian maupun laporan spesifik terkait aplikasi nanoelisor dalam produksi senyawa vanilin. Menurut penelitian Odoux *et al.*, (2003), prekursor vanilin adalah senyawa glukovanilin yang terkandung dalam buah atau polong vanili, namun tidak pada keseluruhan bagiannya. Glukovanilin tidak ditemukan pada bagian epikarpium dan area mesokarpium luar, namun hanya terdeteksi pada bagian mesokarpium dalam. Konsentrasi glukovanilin tertinggi berada pada zona plasenta dan lebih rendah pada zona papila. Glukovanilin yang terpusat di bagian plasenta polong vanili memunculkan area berwarna putih susu. Keberadaan glukovanilin pada bagian tengah polong, yaitu plasenta dan papila berkaitan dengan peranan senyawa fenolik dalam perkecambahan biji. Studi melaporkan bahwa senyawa nanopartikel perak (AgNPs) memiliki pengaruh sebagai nanoelisor bagi senyawa fenolik. Dalam penelitian Coskun & Kapdan (2024), penggunaan AgNPs sebagai nanoelisor memberikan respon positif dalam produksi senyawa fenolik. Pemberian AgNPs dengan dosis 75 µg/l dilaporkan memberikan hasil paling tinggi dalam produksi senyawa fenolik seperti *rosmarinic acid*, *caffeic acid*, *chlorogenic acid*, *protocatechuic acid*, *hesperidin* dan *p-coumaric acid*. Dalam penelitian Spinoso-Castillo *et al.*, (2016) mengenai efek antibakteri dan hormetik senyawa AgNPs pada vanili secara *in vitro*, aplikasi nanopartikel perak (AgNPs) dapat meningkatkan total konten fenolik (TPC) pada tanaman vanili yang dibesarkan secara *in vitro*. Oleh sebab itu, topik mengenai peningkatan total fenolik pada tanaman vanili menggunakan nanoelisor untuk meningkatkan terbentuknya senyawa glukovanilin sangat berpotensi dilakukan pada penelitian-penelitian di waktu mendatang.

### Vanilin Dalam Bidang Nutrasetikal

Vanilin memiliki kemampuan untuk mencegah pertumbuhan serta membunuh bakteri. Dalam penelitian Patrick *et al.*, (2019), ditemukan bahwa vanilin mempunyai kemampuan antibakteri terhadap bakteri *E. coli*. Respon bakteri *E. coli* terhadap paparan senyawa vanilin adalah: 1. Aktivasi sistem detoksifikasi potensial; 2.

Perubahan dalam metabolisme karbon; 3. Aktivasi respon sel terhadap stres oksidatif; dan 4. Gangguan homeostasis ion logam pada sitoplasma sel. Respon dari *E. coli* terhadap aktivitas antibakteri dari vanilin juga terjadi pada penelitian Chen *et al.*, (2023). Dalam penelitian ini, bakteri *E. coli* yang terkena paparan senyawa vanilin mengalami kerusakan membran, dimana membran sel kehilangan integritasnya, lalu terjadi kebocoran pada membran, yang menyebabkan bocornya asam nukleat dan protein keluar sel. Kehilangan integritas membran juga menyebabkan produksi ATP pada sel menurun secara signifikan. Hal ini terjadi karena ketidakseimbangan ion antara dalam dan luar sel yang mengakibatkan kegagalan dalam fosforilasi oksidatif untuk menghasilkan ATP.

Pada penelitian yang dilakukan oleh Hariono *et al.*, (2016), diketahui bahwa senyawa vanilin memiliki potensi untuk menangani neuraminidase. Neuraminidase merupakan enzim yang dapat ditemukan pada beragam organisme, dan yang paling umum dikenal adalah berasal dari permukaan virus influenza. Senyawa turunan vanilin yang disebut MY21 sengaja dirancang untuk melakukan aktivitas anti-neuraminidase. Terdapat laporan mengenai kecenderungan senyawa vanilin untuk membentuk ikatan kimia dengan protein lonjakan (*protein spike*) dan protease utama pada kasus SARS-CoV-2. Hasil ini dapat mendorong penelitian berikutnya untuk menggali kembali potensi aktivitas antivirus senyawa vanilin dan turunannya dalam menghambat neuraminidase (NA). Penelitian oleh Harismah *et al.*, (2022) adalah menganalisis struktural senyawa vanilin dan turunannya untuk inovasi senyawa baru dalam pengobatan COVID-19. Struktur vanilin (VanI) dan sebelas turunannya yang didasarkan pada modifikasi gugus aldehida diselidiki menggunakan perhitungan teori fungsional kerapatan (DFT). Perhitungan DFT dilakukan terlebih dahulu untuk mengoptimalkan struktur ligan dari turunan VanI untuk menginformasikan analisis strukturalnya. Kemudian, protease utama (MPro) dan RNA-dependent RNA polymerase (RdRp) dipilih sebagai target enzimatik untuk ligan vanilin dalam pembentukan kompleks ligan-target melalui simulasi *molecular docking* (MD). Hasilnya

menunjukkan bahwa di antara kompleks tersebut, VanI 9 (-NHNH<sub>2</sub>) dan 11 (-CH<sub>2</sub>Cl) dapat berfungsi sebagai ligan terbaik untuk berinteraksi dengan masing-masing RdRp dan MPro. Sehingga metode modifikasi vanilin dapat dijadikan prosedur dalam mengoptimalkan pembuatan obat yang lebih baik untuk COVID-19. Selain itu, senyawa vanilin juga memiliki kemampuan dalam mengatasi jamur patogen, seperti menghambat pertumbuhan miselium strain *Alternaria* dan *Cryptococcus neoformans* (Arya *et al.*, 2021).

Vanilin berperan dalam penanggulangan penyakit jaringan saraf dengan adanya aktivitas neuroprotektif. Penelitian oleh Gupta & Sharma (2014) serta Lan *et al.*, (2019) menyebutkan bahwa vanilin berpengaruh terhadap penyakit Huntington (HD) dan iskemia, yakni pada proses induksi asam 3-nitropropionat (3-NPA) serta mendorong perkembangan neurofungsional dan memperbaiki kerusakan histomorfologis tikus pada fase neonatal. Senyawa vanilin dan asam vanilat dapat memodulasi sistem antioksidan dengan mengurangi komplikasi metabolik oleh induksi Fe<sup>2+</sup> yang menyebabkan kerusakan jaringan otak (Salau *et al.*, 2020). Selain penyakit degeneratif, senyawa vanilin juga memiliki peranan pada penyakit diabetes dan hematologi. Salah satu penyakit yang berkaitan dengan darah adalah anemia bulan sabit. Senyawa aldehida aromatik seperti O-vanilin (ortho vanilin) dapat mengurangi komplikasi penyakit anemia sel bulan sabit dengan berinteraksi pada bagian hemoglobin yang abnormal, yakni mengurangi polimerisasi dan pembentukan sel darah merah berbentuk sabit. O-vanilin berpengaruh pada permeabilitas membran sel darah merah dan merangsang keluarnya K<sup>+</sup> untuk mengurangi komplikasi akibat sel darah merah yang abnormal (Hannemann *et al.*, 2014).

Senyawa vanilin dalam nanopartikel di bidang nutrasetikal memiliki peran baik sebagai senyawa yang dibawa/*cargo* oleh nanopartikel maupun juga sebagai senyawa obat dalam bentuk nanopartikel itu sendiri. Dalam penelitian Nasr *et al.*, (2020) terkait pengantaran senyawa vanilin dengan nanopartikel  $\beta$ -glucan untuk menguji efek anti-arthritis pada tikus, ditemukan bahwa vanilin yang diantar oleh  $\beta$ -glucan memiliki muatan yang lebih besar pada sel target. Hasilnya, dengan

muatan yang lebih maksimal, vanilin mampu menekan ekspresi dari gen TNF- $\alpha$  dan menghambat ekspresi gen TLR2 yang merupakan gen yang mengatur pelepasan sitokin penyebab inflamasi. Hal ini berpotensi pada penerapan lebih lanjut mengenai efek anti-inflamasi dari vanilin, serta bentuk pengantaran pada organ target yang memaksimalkan muatan senyawa vanilin di dalamnya. Dalam penelitian Kamaraj *et al.*, (2018), sifat dari anti-kanker vanilin diuji dalam skala *in-vitro* pada sel L929 fibroblas dan MCF-7. Dalam penelitian tersebut, ditemukan bahwa perlakuan vanilin yang diantar dalam bentuk nanopartikel, bersama dengan nanopartikel kitosan dan kurkumin, memiliki kemampuan anti-kanker dengan menurunkan viabilitas sel kanker hingga 98,47% lebih efektif jika dibandingkan dengan sel yang tidak diberikan perlakuan. Hal ini menandakan bahwa sitotoksitas dari vanilin terhadap sel kanker sangatlah tinggi, sehingga memiliki potensi besar dalam aplikasinya pada bidang nutraseutikal.

### Vanilin Dalam Bidang Kosmeseutikal

Kosmeseutikal merupakan produk kosmetik yang secara khusus memiliki kandungan senyawa aktif biologi tertentu dengan manfaat terapeutik untuk mengatasi berbagai macam kondisi yang berkaitan dengan estetika penampilan, diantaranya kerusakan rambut, rambut rontok, warna kulit tidak merata, kemunculan bintik hitam, kerutan, dan kulit kering (Darajat *et al.*, 2022). Senyawa vanilin digunakan dalam dunia kosmetik karena memiliki aroma yang khas dan sifat antioksidan. Dalam konsentrasi tertentu, senyawa vanilin dapat berperan dalam peningkatan ekspresi protein perekat epitel yang disebut dengan E-cadherin. Senyawa vanilin menurunkan produksi sitokin pro-inflamasi dan mengurangi fosforilasi yang diinduksi dari UV-B serta beberapa protein yang berperan penting dalam proses peremajaan serta perbaikan kulit. Berdasarkan penelitian oleh Oladimeji *et al.*, (2021), turunan tereduksi (o-metoksi-p-metil sikloheksan-1-ol) dan turunan asetil (vanilin asetat) menunjukkan aktivitas antioksidan yang signifikan. Dalam penelitian ini, senyawa vanilin diberikan reaksi asetilasi, O-demetilasi, reduksi, dan oksidasi. Aktivitas

antioksidan (IC50) dari vanilin dan turunan-turunannya diperoleh menggunakan metode DPPH. Aktivitas yang diperoleh berupa produk reduksi yang sedikit lebih baik daripada produk asetil. Oleh karena itu, reduksi dan asetilasi dapat meningkatkan aktivitas antioksidan vanilin secara terpisah. Senyawa vanilin berperan juga sebagai anti-inflamasi karena dapat menghambat nitrat oksida pada makrofag yang diaktifkan dengan molekul lipopolisakarida. Aktivitas anti-inflamasi senyawa vanilin berkaitan dengan penekanan iNOS (*inducible nitric oxide synthase*) atau penekanan sintase nitrat oksida, yakni mengurangi induksi mRNA iNOS pada sel makrofag yang distimulasi dengan lipopolisakarida.

Vanilin juga dimanfaatkan sebagai agen pengikat silang alami dalam pembuatan hidrogel kitosan untuk penyembuhan luka. Grup aldehida vanilin bereaksi dengan grup amino dari satu molekul kitosan melalui reaksi Schiff-base, sedangkan grup hidroksilnya membentuk ikatan hidrogen dengan grup hidroksil atau grup amino dalam molekul kitosan lainnya, yang menyediakan dasar untuk konstruksi jaringan reversible (reaksi kimia dua arah). Dalam beberapa konsentrasi, gabungan antara vanilin dengan kitosan yang diaplikasikan bersama komponen organik atau logam lainnya dimanfaatkan dalam proses penyembuhan luka dan rekayasa jaringan, contohnya jaringan osteokondral (Xu *et al.*, 2018). Senyawa vanilin dapat berperan sebagai perantara perbaikan pada kerusakan DNA sehingga berpotensi sebagai antimutagenik. Vanilin dapat memicu kerusakan jenis DNA tertentu yang dapat merangsang perbaikan rekombinasi. Aktivasi rekombinasi ini memungkinkan perbaikan kerusakan yang disebabkan oleh vanilin dan juga kerusakan DNA lainnya, sehingga mengurangi frekuensi mutasi spontan. Efek antimutagenik vanilin telah dipelajari pada *Drosophila melanogaster* yang mengalami kerusakan genomik, yakni menghambat kerusakan oksidatif dan aksi stimulasi pada enzim detoksifikasi. Pada sel manusia, vanilin dalam konsentrasi tertentu dapat mengurangi sitotoksitas yang diinduksi oleh UV, kerusakan DNA pada sel punca keratinosit, meningkatkan produksi sitokin proinflamasi, dan menurunkan fosforilasi ataksia telangiectasia yang

bermutasi (ATM) (Bezerra *et al.*, 2016). Dalam aplikasinya pada bidang kosmesetikal saat ini, vanilin sering dimanfaatkan sebagai bahan dalam pembuatan *lipstick* dan *lipbalm*. Hal ini dikarenakan kemampuan vanilin dalam mengurangi efek kerusakan kulit yang disebabkan oleh sinar matahari, terutama sinar UV-A, serta kemampuannya sebagai antioksidan yang dapat menghindari bibir dari stres oksidatif akibat paparan radikal bebas (Banerjee & Chattopadhyay, 2018).

## DAFTAR PUSTAKA

- Abdel-Aziz, H., Hasaneen, M. N., & Omar, A. (2018). Effect of Foliar Application of Nano Chitosan NPK Fertilizer on the Chemical Composition of Wheat Grains. *Egyptian Journal of Botany*, 58(1), 87-95.
- Ahmed, B., Khan, M. S., & Musarrat, J. (2018). Toxicity Assessment of Metal Oxide Nano-Pollutants on Tomato (*Solanum lycopersicon*): A Study on Growth Dynamics and Plant Cell Death. *Environmental Pollution*, 240, 802-816.
- Alharby, H. F., Metwali, E.M., Fuller, M. P., Aldhebani, A. Y. (2016). Impact of Application of Zinc Oxide Nanoparticles on Callus Induction, Plant Regeneration, Element Content and Antioxidant Enzyme Activity in Tomato (*Solanum lycopersicum* Mill.) Under Salt Stress, *Arch. Biol. Sci.* 68, 723–735.
- Amer, A. (2018). Biotechnology Approaches for In Vitro Production of Flavonoids. *The Journal of Microbiology, Biotechnology and Food Sciences*, 7(5), 457.
- Arya, S. S., Rookes, J. E., Cahill, D. M., & Lenka, S. K. (2021). Vanilin: A Review on The Therapeutic Prospects of a Popular Flavouring Molecule. *Advances in traditional medicine*, 1-17.
- Astuti, Y., Siagian, R., Daniati, C., Isnaini, N. (2021). Pengenalan dan Pengendalian OTP Pada Tanaman Vanili. Jakarta: Direktorat Perlindungan Perkebunan Direktorat Jenderal Perkebunan Kementerian Pertanian.
- Awasthi, S., & Saraswathi, N. T. (2016). Vanilin Restrains Non-Enzymatic Glycation and Aggregation of Albumin by Chemical Chaperone Like Function. *International Journal of Biological Macromolecules*, 87, 1-6.
- Banerjee, G., Chattopadhyay, P. (2018). Vanilin Biotechnology: The Perspectives and Future. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 99(2), 499-506.
- Bezerra, D. P., Soares, A. K. N., & de Sousa, D. P. (2016). Overview of The Role of Vanilin on Redox Status and Cancer Development. *Oxidative Medicine and Cellular Longevity*, 2016(1), 9734816.
- Chen, P., Liu, Y., Li, C., Hua, S., Sun, C., & Huang, L. (2023). Antibacterial Mechanism of Vanilin Against *Escherichia coli* O157: H7. *Heliyon*, 9(9).
- Chen, T., Yang, W., Guo, Y., Yuan, R., Xu, L., & Yan, Y. (2014). Enhancing Catalytic Performance of  $\beta$ -glucosidase Via Immobilization on Metal Ions Chelated Magnetic Nanoparticles. *Enzyme and Microbial Technology*, 63, 50-57.
- Converti, A., Aliakbarian, B., Domínguez, J. M., Vázquez, G. B., & Perego, P. (2010). Microbial Production of Biovanilin. *Brazilian Journal of Microbiology*, 41, 519-530.
- Coskun, Y., & Kapdan, G. (2024). Silver Nanoparticles (AgNPs) Act as Nanoelicitors in *Melissa Officinalis* to Enhance the Production of Some Important Phenolic Compounds and Essential Oils. *Flavour and Fragrance Journal*, 40(2): 278-288.
- Darajat, N. Z., Chaerunnisa, A. Y., & Abdassah, M. (2022). Kosmesetikal dengan Zat Aktif dalam Sistem Liposom. *Journal of The Indonesian Society of Integrated Chemistry*, 14(1), 10-20.
- Drostkar, E., Talebi, R., & Kanouni, H. (2016). Foliar application of Fe, Zn and NPK Nano-Fertilizers on Seed Yield and Morphological Traits in Chickpea Under Rainfed Condition. *Journal of Resources and Ecology*, 4(1), 221-8.
- Gupta, S., & Sharma, B. (2014). Pharmacological Benefits of Agomelatine and Vanilin in Experimental Model of Huntington's disease. *Pharmacology Biochemistry and Behavior*, 122(2014), 122-135.
- Haghighi, M., & Pessarakli, M. (2013). Influence of Silicon and Nano-Silicon on Salinity Tolerance of Cherry Tomatoes (*Solanum lycopersicum* L.) at Early Growth Stage. *Scientia Horticulturae*, 161(2013), 111-117.

- Halim, R., Akyol, B., & Güner, A. (2017). In Vitro Regeneration of Vanilla (*Vanilla planifolia* L.). *Journal of Applied Biological Sciences*, 11(1), 5-10.
- Hannemann, A., Cytlak, U. M. C., Gbotosho, O. T., Rees, D. C., Tewari, S., & Gibson, J. S. (2014). Effects of O-Vanilin on K<sup>+</sup> Transport of Red Blood Cells From Patients with Sickle Cell Disease. *Blood Cells, Molecules, and Diseases*, 53(1-2), 21-26.
- Hariono, M., Abdullah, N., Damodaran, K. V., Kamarulzaman, E. E., Mohamed, N., Hassan, S. S., Wahab, H. A. (2016). Potential New H1N1 Neuraminidase Inhibitors From Ferulic Acid and Vanilin: Molecular Modelling, Synthesis and In Vitro Assay. *Scientific Reports*, 6(1), 38692.
- Harismah, K., Fazeli, F., & Zandi, H. (2022). Structural Analyses of Vanilin Derivative Compounds and Their Molecular Docking with MPRO and RDRP Enzymes of COVID-19. *Biointerface Research in Applied Chemistry*, 12(2), 1660-1669.
- Hastuti, A., Lestari, T.A., Mardiah. (2021). Pemanfaatan 8 Jenis Rempah di Bidang Kosmetik, Bumbu Masak, Makanan Hingga *Frangrance* dan *Flavor*. *Jurnal Ilmiah Pangan Halal*, 3(1), 9-18.
- Kamaraj, S., Palanisamy, U. M., Mohamed, M. S., Gangasalam, A., Maria, G. A., Kandasamy, R. (2018).
- Curcumin drug delivery by vanilin- chitosan coated with calcium ferrite hybrid nanoparticles as carrier. *Eur J Pharm Sci*, 116, 48–60.
- Konate, A., Wang, Y., He, X., Adeel, M., Zhang, P., Ma, Y., Zhang, Z. (2018). Comparative Effects of Nano and Bulk Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub> on The Growth of Cucumber (*Cucumis sativus*). *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 165(2018), 547-554.
- Lan, X. B., Wang, Q., Yang, J. M., Ma, L., Zhang, W. J., Zheng, P., Yu, J. Q. (2019). Neuroprotective Effect of Vanilin on Hypoxic-Ischemic Brain Damage in Neonatal Rats. *Biomedicine & Pharmacotherapy*, 118(2019), 109196.
- Mudyantini, W., Huda, Y. N., & Pitoyo, A. (2024). Growth of Vanilla (*Vanilla planifolia*) Roots in Different Internodes of Stem Cuttings with NAA (Naphthaleneacetic Acid) Treatments. *Cell Biology and Development*, 8(1), 13-21.
- Moghaddasi, S., Fotovat, A., Khoshgoftarmansh, A. H., Karimzadeh, F., Khazaei, H. R., & Khorassani, R. (2017). Bioavailability of Coated and Uncoated ZnO Nanoparticles to Cucumber in Soil With or Without Organic Matter. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 144(2017), 543-551.
- Narayani, M., & Srivastava, S. (2017). Elicitation: A Stimulation of Stress in In Vitro Plant Cell/Tissue Cultures for Enhancement of Secondary Metabolite Production. *Phytochemistry Reviews*, 16(2017), 1227-1252.
- Nasr, S., Varshosaz, J., Hajhashemi, V. (2020). Ortho-vanilin nanoparticle- doped glucan microspheres exacerbate the anti-arthritis effects of methotrexate in adjuvant-induced arthritis in rats. *Pharmacol Rep*, 72(3), 680–691.
- Oladimeji OH, Idiong ES, Joseph UA. (2021). A Cycloalkanol from Derivatization Studies on Vanilin: Evaluation of Antioxidant Activity of Obtained Derivatives. *Journal of Phramaceutical Sciences & Clinical Research*, 6(1): 1-7.
- Patrick, C. A., Webb, J. P., Green, J., Chaudhuri, R. R., Collins, M. O., & Kelly, D. J. (2019). Proteomic Profiling Transcription Factor Modeling, and Genomics of Evolved Tolerant Strains Elucidate Mechanisms of Vanilin Toxicity in *Escherichia coli*. *Msystems*, 4(4), 1-29.
- Raliya, R., Vinod, S., Christian, D., Pratim, B. (2017). Nanofertilizer for Precision and Sustainable Agriculture: Current State and Future Perspective. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 66 (26): 6487-6503.
- Raliya, R., & Tarafdar, J. C. (2013). ZnO Nanoparticle Biosynthesis and It's Effect on Phosphorous Mobilizing Enzyme Secretion and Gum Contents in Clusterbean (*Cyamopsis tetragonoloba* L.). *Agricultural Research*, 2(2013), 48-57.
- Rezvani, N., Sorooshzadeh, A., & Farhadi, N. (2012). Effect of Nano-Silver on Growth of Saffron in Flooding Stress. *International Journal of Agricultural and Biosystems Engineering*, 6(1), 11-16.
- Rossi, L., Fedenia, L. N., Sharifan, H., Ma, X., & Lombardini, L. (2019). Effects of Foliar Application of Zinc Sulfate and Zinc Nanoparticles in Coffee (*Coffea arabica* L.) Plants. *Plant Physiology and Biochemistry*, 135(2013), 160-166.
- Ruhnayat, A. (2003). Bertanam Vanili : Si Emas Hijau nan Wangi. Jakarta: AgroMedia Pustaka.

- Rusly, M., & Rahman, D. Y. (2023). Perkembangan Penerapan Nanoteknologi pada Bidang Pertanian. *Jurnal Penelitian Fisika dan Terapannya (Jupiter)*, 4(2), 10-14.
- Sabatini, S.D., Budihastuti, R., Suedy, S.W.A. (2017). Pengaruh Pemberian Pupuk Nanosilika Terhadap Tinggi Tanaman dan Jumlah Anakan Padi Beras Merah (*Oryza sativa* L.var. *indica*). *Buletin Anatomi dan Fisiologi*, 2(2): 128-133.
- Salau, V. F., Erukainure, O. L., Ibeji, C. U., Olasehinde, T. A., Koorbanally, N. A., & Islam, M. S. (2020). Vanilin and Vanillic Acid Modulate Antioxidant Defense System Via Amelioration of Metabolic Complications Linked to Fe 2+-Induced Brain Tissues Damage. *Metabolic Brain Disease*, 35(2020), 727-738.
- Setyaningsih, D., Rusli, M.S., Muliati, N. (2007). Sifat Fisikokimia dan Aroma Ekstrak Vanili. *Jurnal Ilmu Pertanian Indonesia*, 12(3): 173-181.
- Shenashen, M., Derbalah, A., Hamza, A., Mohamed, A., El Safty, S. (2017). Antifungal Activity of Fabricated Mesoporous Alumina Nanoparticles Against Root Rot Disease of Tomato Caused by *Fusariumoxysporum*. *Pest Management Science*, 73: 1121–1126
- Sidek, N., Anuar, N. S. M., Naher, L., & Muâ, K. A. (2018). The Effect of Different Nutrient Media on In Vitro Shoot and Root Proliferation of *Vanilla planifolia* Jacks. ex Andrews. *African Journal of Biotechnology*, 17(39), 1241-1246.
- Solano, M. C. P., Bogdanchikovab, N., Galindo, M. E. (2020). Silver Nanoparticles Affect The Micropropagation Of Vanilla (*Vanilla planifolia* Jacks. ex Andrews) *Agrociencia*, 54 (1), 1-13
- Spinoso-Castillo, J. L., Chavez-Santoscoy, R. A., Bogdanchikova, N., Pérez-Sato, J. A., Morales-Ramos, V., Bello, J. J. (2017). Antimicrobial and Hormetic Effects of Silver Nanoparticles on In Vitro Regeneration of Vanilla (*Vanilla planifolia* Jacks. ex Andrews) Using a Temporary Immersion System. *Plant Cell, Tissue and Organ Culture (PCTOC)*, 129(2017), 195-207.
- Tjitrosoepomo, G. (2012). Taksonomi Tumbuhan (Spermatophyta). Yogyakarta: Gadjah Mada University Press.
- Vanti, G.L., Nargund, V.B., N, B.K., Vanarchi, R., Kurjogi, M., Mulla, S.I., Tubaki, S., Patil, R.R. (2018). Synthesis of Gossypium Hirsutum-Derived Silver Nanoparticles and Their Antibacterial Efficacy Against Plant Pathogens. *Applied Organometallic Chemistry*. 33(1): 21-35.
- Wang, N., Wu, R., Fu, Q., Wang, H., Zhang, Z., Haji, Z., An, Y. (2018). Immobilization of  $\beta$ -Glucosidase BglC on Decanedioic Acid-Modified Magnetic Nanoparticles. *Chemical Engineering & Technology*, 41(10), 1949-1955.
- Windy, Y.M., Dilla, K.N., Claudia, J., Noval., Hakim, A.R. (2022). Karakterisasi dan Formulasi Nanopartikel Ekstrak Tanaman Bundung (*Actinoscirpus grossus*) dengan Variasi Konsentrasi Basis Kitosan dan NA-TPP Menggunakan Metode Gelasi Ionik. *Jurnal Surya Medika*, 8(3): 25-29.
- Xu, C., Zhan, W., Tang, X., Mo, F., Fu, L., & Lin, B. (2018). Self-Healing Chitosan/Vanilin Hydrogels Based on Schiff Base Bond/Hydrogen Bond Hybrid Linkages. *Polymer Testing*, 66(2018), 155-163.
- Yanuar, F., & Widawati, M. (2014). Pemanfaatan Nanoteknologi dalam Pengembangan Pupuk dan Pestisida Organik. *Jurnal Kesehatan*, 1(1), 53-58.
- Zainul, L.A.B., Soeparjono, S., Setiawati, T.C. (2022). Aplikasi Pupuk Silika untuk Meningkatkan Ketahanan Tanaman Cabai Rawit (*Capsicum annum* L.) terhadap Stres Genangan. *Jurnal Agron Indonesia*, 50(2), 172-179.
- Zulfiqar, F., Miriam, N., Muhammad, A., Nudrat, A. A., Sergi, M., (2019). Nanofertilizer Use For Sustainable Agriculture: Advantages and Limitations. *Plant Science*. 289(2019),1-11.