

Kerangka Rizobakteri Pemacu Pertumbuhan Tanaman, Ketahanan Sistemik Terinduksi, Dan Sumber–Serapan Dalam Pembentukan Mutu Buah Melon: Sebuah Uji Eksperimental

Rhizobacterial Framework of Plant Growth Promoters, Induced Systemic Resistance, and Source–Absorption in Melon Fruit Quality Formation: An Experimental Test

Budhi Haryanto¹, Ida Aryati Diah Purnomo Wulan², Srie Juli Rachmawatie^{3*},
M. Gunawan Setyadi⁴, Didik Setyawan⁵, Pramudya Ibnu Subrata⁶

¹Program Studi Pascasarjana, Fakultas Ekonomi dan Bisnis, Universitas Sebelas Maret, Surakarta, Indonesia

²Program Studi Manajemen, Fakultas Ekonomi, Universitas Islam Batik, Surakarta, Indonesia

³Program Studi Agroteknologi, Fakultas Pertanian, Universitas Islam Batik, Surakarta, Indonesia

⁴Program Studi Manajemen, Fakultas Ekonomi Bisnis, ITB AAS, Surakarta, Indonesia

⁵Program Studi Manajemen, Fakultas Bisnis, Universitas Setia Budi, Surakarta, Indonesia

⁶Program Studi Manajemen, Fakultas Ekonomi dan Bisnis, Universitas Slamet Riyadi, Surakarta, Indonesia

*Corresponding author: idaaryatiwulan@gmail.com

*Corresponding author: rachmawatiesjr.uniba@gmail.com

Received: 20 September 2025

Accepted: 27 Oktober 2025

Available online: 30 Desember 2025

ABSTRACT

This study addresses the need to improve melon fruit quality while reducing dependence on chemical inputs by evaluating the effectiveness of a consortium based plant growth promoting rhizobacteria (PGPR) biofertilizer biopesticide. The objective was to assess its impact on the quality of Madesta melon grown in a lowland clay soil agroecosystem, focusing on fruit weight, netting density, and rind color. A two group experimental design (biological treatment versus control) was implemented using a polybag system under uniform basal NPK fertilization. One fruit per plant was evaluated at 75 days after anthesis. Data were analyzed using the Shapiro Wilk test for normality, Welch's t test for mean comparisons with 95% confidence intervals, and complementary nonparametric tests for ordinal variables. The results showed that plants receiving the biofertilizer biopesticide consistently produced heavier fruits with denser netting and brighter, more uniform rind color than the control group, with statistically significant differences and large effect sizes. These findings indicate that PGPR based biofertilizer biopesticide application is an effective complementary strategy to enhance melon fruit quality and uniformity, with potential economic benefits and reduced chemical residue risks. Further multi location and multi season evaluations are recommended to support wider adoption.

Keywords: rhizobacteria, induced systemic resistance, source sink theory, biofertilizer biopesticide, fruit quality

I. PENDAHULUAN

Beragam keluhan di tingkat budidaya dan pascapanen menunjukkan adanya kesenjangan empiris pada produksi melon di lapangan, di mana kualitas buah yang beredar belum konsisten, terutama jika ditinjau dari ukuran buah dan kerapatan serta keseragaman netting (ANTARA, 2025; Times Indonesia, 2025). Di banyak

sentra produksi, praktik budidaya masih bertumpu pada input sintetis, pengendalian hama penyakit yang reaktif, serta manajemen air dan hara yang belum presisi (Pupuk Indonesia, 2024; Kementan/PSP, 2025). Pada agroekosistem dataran rendah bertekstur liat yang umum dijumpai di Indonesia, keterbatasan aerasi tanah dan perkembangan perakaran sering menghambat efisiensi

DOI: <https://doi.org/10.33387/jpk.v4i2.11323>

serapan hara, sehingga pembesaran buah dan pembentukan netting tidak optimal meskipun varietas dan dosis pemupukan telah mengikuti rekomendasi umum (BRIN, 2023). Kondisi ini menunjukkan adanya celah pengetahuan praktis dan ilmiah terkait penanganan terpadu melon dari tingkat rizosfer hingga mutu buah akhir (BSN, 2013).

Di sisi lain, pupuk dan pestisida hayati banyak diklaim mampu memperbaiki kesehatan tanah, meningkatkan efisiensi hara, serta menekan organisme pengganggu. Namun, bukti kausal yang kuat pada tanaman melon masih terbatas, terutama studi yang secara eksplisit mengaitkan perbaikan fungsi rizosfer dengan indikator mutu visual utama yang menentukan harga jual, yakni ukuran buah dan netting. Sebagian penelitian berfokus pada pertumbuhan vegetatif atau hasil total tanpa mengontrol input NPK secara seragam atau tanpa mempertimbangkan karakter tanah liat dataran rendah yang dominan di Indonesia. Keterbatasan bukti ini menyebabkan rekomendasi di tingkat petani sering bersifat anekdotal dan sulit digeneralisasi.

Untuk menjawab celah tersebut, penelitian ini mengembangkan pupuk dan pestisida hayati berbasis konsorsium rizobakteri yang dimurnikan dari tanah sekitar akar leguminosae, dengan target bakteri kunci seperti *Bacillus subtilis*, *Pseudomonas fluorescens*, *Azotobacter*, dan *Azospirillum*, serta beberapa isolat unggul hasil seleksi. Konsorsium ini secara biologis berpotensi meningkatkan vigor akar, ketersediaan dan efisiensi hara, produksi fitohormon, pelarutan fosfat, serta induksi ketahanan sistemik, sehingga diharapkan memperbaiki pembesaran buah dan keseragaman netting.

Eksperimen lapangan dilakukan pada tanaman melon varietas Madesta di Rengasdengklok, Kabupaten Karawang, Jawa Barat, yang merepresentasikan dataran rendah bertanah liat, menggunakan sistem polybag dengan pemupukan NPK seimbang yang diseragamkan antar perlakuan (KarawangNews, 2025). Perlakuan pupuk dan pestisida hayati dibandingkan dengan kontrol tanpa aplikasi hayati agar efek biologis dapat diisolasi. Evaluasi mutu dilakukan pada hari ke 75 saat kematangan penuh, dengan fokus pada bobot buah, skor kerapatan netting, dan skor warna melon berdasarkan persepsi konsumen.

Penelitian ini diharapkan memberikan kontribusi teoretis melalui pengujian kausal hubungan rizobakteri, fungsi akar, dan mutu buah akhir pada melon dataran rendah, serta kontribusi praktis berupa rekomendasi berbasis bukti mengenai efektivitas pupuk dan pestisida hayati dalam meningkatkan mutu buah menuju grade premium tanpa menambah ketergantungan pada input sintesis.

II. Metode Penelitian

Objek penelitian adalah tanaman melon Cucumis melo L varietas Madesta, tipe rock melon hibrida yang umum dibudidayakan di dataran rendah hingga menengah dan dikenal memiliki netting rapat. Penetapan spesies dan deskriptor varietas mengacu pada standar hortikultura dan

sumber benih resmi (IPGRI, 2003; Panah Merah, 2025; Firmansyah, 2018). Penelitian dilaksanakan pada agroekosistem sawah irigasi dataran rendah bertekstur liat di Kecamatan Rengasdengklok Kabupaten Karawang Jawa Barat yang representatif bagi wilayah produksi hortikultura setempat (BPS Karawang, 2024). Karakter agroekologi dan edafik lokasi merujuk pada peta tanah nasional dan klasifikasi agroklimat Oldeman (BBSDLP Kementan, 2016; Oldeman, 1980; Weil dan Brady, 2016).

Bahan tanam berupa benih Madesta yang lazim digunakan petani lokal. Budidaya dilakukan dalam polybag pada hamparan yang sama dengan pemeliharaan seragam meliputi penyiraman sanitasi pengendalian gulma dan pemupukan dasar NPK seimbang. Pemeliharaan diarahkan satu buah per tanaman untuk mencapai mutu premium (Marcelis, 1996).

Kelompok perlakuan menerima aplikasi pupuk dan pestisida hayati berbasis konsorsium rizobakteri dari rizosfer leguminosae yang menargetkan *Bacillus subtilis*, *Pseudomonas fluorescens*, *Azotobacter*, *Azospirillum* dan isolat unggul terseleksi. Aplikasi dilakukan melalui pelapisan benih siram tanah dan semprot daun untuk mengoptimalkan kolonisasi dan fungsi biologis (Lugtenberg dan Kamilova, 2009; Glick, 2012; Bashan dan de Bashan, 2010). Mekanisme mencakup peningkatan ketersediaan hara modulasi fitohormon penekanan patogen dan induksi ketahanan sistemik (Haas dan Défago, 2005; Pieterse dkk., 2014). Kelompok kontrol hanya menerima pupuk non hayati dengan NPK seimbang (BBSDLP Kementan, 2016).

Unit analisis adalah buah individu per tanaman. Pengamatan dilakukan pada H+75 setelah anthesis sesuai kerangka source sink (Marcelis, 1996; Bihmidine dkk., 2013). Variabel mutu meliputi bobot buah warna kulit dan kerapatan netting dengan prosedur terstandar (McGuire, 1992; CIE, 2004; IPGRI, 2003). Reliabilitas dianjurkan menggunakan ICC (Shrout dan Fleiss, 1979). Analisis statistik menggunakan uji t Welch dengan pemeriksaan asumsi Shapiro Wilk dan Levene serta alternatif nonparametrik bila diperlukan disertai ukuran efek dan koreksi Holm Bonferroni (Welch, 1947; Levene, 1960; Shapiro dan Wilk, 1965; Mann dan Whitney, 1947; Cliff, 1993; Yuen, 1974; Hedges dan Olkin, 1985; Cohen, 1988; Holm, 1979).

III. HASIL DAN PEMBAHASAN

Berdasarkan Tabel 1, uji normalitas Shapiro Wilk telah diterapkan untuk setiap variabel pada masing-masing kelompok ($N = 30$ per kelompok). Statistik yang dilaporkan mencakup W (Shapiro Wilk), p -value, dan keputusan pada $\alpha = 0,05$ beserta penanda signifikansi (ns, *, **, ***). Tujuannya ialah menilai kesesuaian sebaran data dengan distribusi normal sebelum dilakukan pengujian perbedaan rerata.

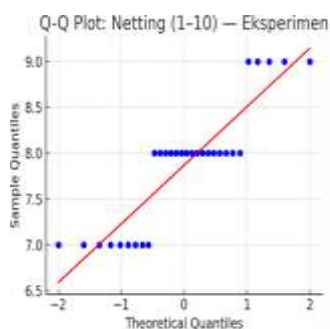
Untuk berat buah (kg), hasil menunjukkan tidak ada pelanggaran normalitas pada kedua kelompok: Eksperimen memperoleh $W = 0,9393$, $p = 0,0871$ (ns), sedangkan Kontrol $W = 0,9653$, $p = 0,4187$ (ns) (lihat table 5, lihat juga gambar 1 dan gambar 2). Dengan demikian, asumsi normalitas untuk variabel berat dinilai terpenuhi secara operasional pada taraf signifikansi 5%.

TABEL 1
Hasil uji normalitas

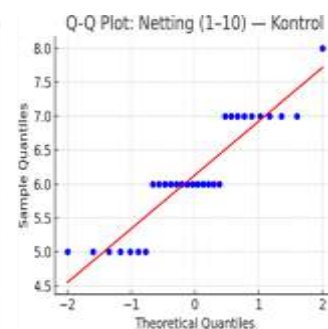
Variabel	Kelompok	N	W (Shapiro Wilk)	p- value	Keputusan ($\alpha = 0,05$)	Sig
Berat (kg)	Eksperimen	30	0.9393	0.0871	Tidak menolak normalitas	ns
Berat (kg)	Kontrol	30	0.9653	0.4187	Tidak menolak normalitas	ns
Netting (1–10)	Eksperimen	30	0.7988	0.0001	Menolak normalitas	***
Netting (1–10)	Kontrol	30	0.8597	0.0010	Menolak normalitas	**
Warna (1–10)	Eksperimen	30	0.7623	<0.0001	Menolak normalitas	***
Warna (1–10)	Kontrol	30	0.865	0.0013	Menolak normalitas	**

Untuk berat buah (kg), hasil menunjukkan tidak ada pelanggaran normalitas pada kedua kelompok: Eksperimen memperoleh $W = 0,9393$, $p = 0,0871$ (ns), sedangkan Kontrol $W = 0,9653$, $p = 0,4187$ (ns) (lihat table 1, lihat juga gambar 1 dan gambar 2). Dengan demikian, asumsi normalitas untuk variabel berat dinilai terpenuhi secara operasional pada taraf signifikansi 5%.

4). Pola ini konsisten dengan sifat data bertingkat pada skala kategori 1–10 yang kerap menyimpang dari distribusi normal.

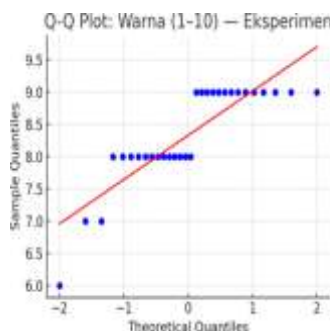


Gambar 3. Netting kelompok eksperimen

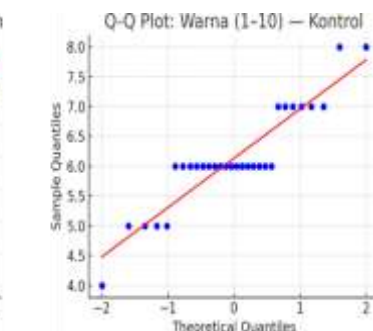


Gambar 4. Netting kelompok kontrol

Temuan serupa terlihat pada warna kulit (skor 1–10), di mana normalitas juga ditolak pada kedua kelompok: Eksperimen $W = 0,7623$, $p < 0,0001$ (*), dan Kontrol $W = 0,8650$, $p = 0,0013$ (lihat tabel 1, lihat juga gambar 5 dan 6). Hal ini mengindikasikan distribusi yang tidak normal, kemungkinan dipengaruhi oleh diskretisasi skor dan konsentrasi nilai pada rentang atas maupun tengah skala.



Gambar 5. Warna kelompok eksperimen

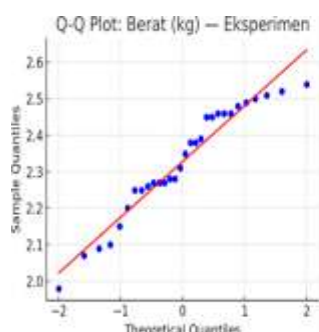


Gambar 6. Warna kelompok kontrol

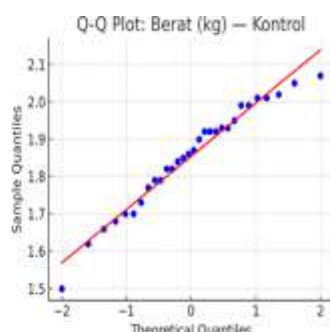
Secara metodologis, hasil ini menyiratkan bahwa uji parametrik tetap layak untuk berat (misalnya t -test Welch), sedangkan untuk netting dan warna dianjurkan pelaporan analisis pendamping nonparametrik (misalnya Mann–Whitney U) atau prosedur robust, agar inferensi tidak bergantung pada asumsi normalitas yang jelas tidak terpenuhi pada kedua variabel tersebut.

A. Deskripsi melon

Gambar 7 menampilkan retikulasi kulit yang menyeluruh dan cukup halus; untuk kepentingan penelitian, tiga indikatornya dapat diringkas sebagai berikut: (1) berat buah tidak dapat dipastikan secara visual dan tetap diukur dengan timbangan digital (kg, ketelitian 0,01); (2) kerapatan netting tampak rapat dan relatif seragam, indikator skor tinggi (≈ 8 –9/10) menurut rubrik 1–10; (3) warna kulit terlihat cerah dan cukup merata, indikator skor 7–8/10 pada skala persepsi 1–10. Penilaian visual bersifat indikatif; nilai final untuk netting dan warna



Gambar 1. Berat melon kelompok Eksperimen



Gambar 2. Berat melon kelompok kontrol

Pada kerapatan netting (skor 1–10), normalitas ditolak pada kedua kelompok. Kelompok Eksperimen menunjukkan $W = 0,7988$, $p = 0,0001$ (*), dan Kontrol $W = 0,8597$, $p = 0,0010$ (lihat table 1, lihat juga gambar 3 dan

tetap ditetapkan oleh dua penilai di bawah pencahayaan seragam sesuai prosedur.



Gambar 7. Contoh Melon Madesta Yang Superior

TABEL 2. Statistik deskriptif per kelompok

Variabel	Kelompok	N	Rata-rata	SD	Minimum	Maksimum
Berat (kg)	Eksperimen	30	2.33	0.15	1.98	2.54
Berat (kg)	Kontrol	30	1.85	0.14	1.5	2.07
Netting (1–10)	Eksperimen	30	7.87	0.68	7.0	9.0
Netting (1–10)	Kontrol	30	6.13	0.82	5.0	8.0
Warna (1–10)	Eksperimen	30	8.33	0.76	6.0	9.0
Warna (1–10)	Kontrol	30	6.13	0.86	4.0	8.0

Secara deskriptif, kelompok eksperimen menunjukkan mutu yang lebih baik pada seluruh indikator dibanding kelompok kontrol. Berat buah rata-rata pada eksperimen mencapai 2.33 ± 0.15 kg (rentang 1.98–2.54 kg), lebih tinggi sekitar 0.48 kg daripada kontrol (1.85 ± 0.14 kg; 1.50–2.07 kg), dengan keragaman relatif lebih rendah ($CV \approx 6.4\%$ vs 7.6%). Kerapatan netting pada eksperimen juga lebih tinggi, yakni 7.87 ± 0.68 (rentang 7.0–9.0), dibanding kontrol 6.13 ± 0.82 (5.0–8.0); selain selisih mean +1.74 poin, stabilitas penilaian lebih baik ($CV \approx 8.6\%$ vs 13.4%). Warna kulit memperlihatkan pola serupa: eksperimen 8.33 ± 0.76 (rentang 6.0–9.0) melampaui kontrol 6.13 ± 0.86 (4.0–8.0), dengan selisih mean +2.20 poin dan keragaman relatif lebih kecil ($CV \approx$

9.1% vs 14.0%) (lihat table 2). Rentang nilai minimum–maksimum juga menunjukkan tumpang tindih yang sempit untuk berat, serta pergeseran distribusi ke arah mutu lebih tinggi untuk netting dan warna pada kelompok eksperimen. Temuan ini menggambarkan bahwa perlakuan hayati tidak hanya menaikkan rerata mutu, tetapi juga meningkatkan keseragaman hasil dibanding perlakuan biasa.

B. Pengujian hipotesis

1. Pengaruh pupuk terhadap berat

Gambar boxplot memperlihatkan pergeseran keseluruhan sebaran berat buah ke arah nilai yang lebih tinggi pada kelompok eksperimen dibanding kontrol: median lebih tinggi, kuartil dan rentang antarkuartil (IQR) berada di atas kontrol, serta tumpang-tindih antarbox minimal (lihat gambar 8). Satu *outlier* pada kontrol muncul di sisi bawah, sedangkan eksperimen menunjukkan sebaran yang lebih “padat” di kisaran berat yang tinggi. Secara visual, pola ini sudah mengisyaratkan keunggulan konsisten pada perlakuan hayati.

TABEL 3.

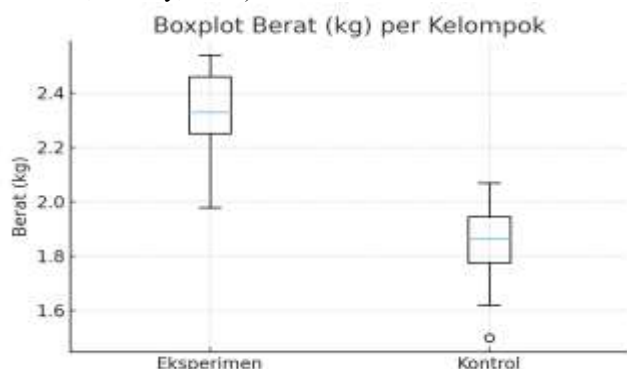
Hasil Uji Pengaruh Pupuk terhadap Berat Buah

Indikator	Rata-rata (Eksperimen)	Rata-rata (Kontrol)	Selisih rata-rata (Eksperimen – Kontrol)	CI 95% [batas bawah, batas atas]	t (df Welch)	p-value	Hedges' g
Berat (kg)	2.33	1.85	0.47	[0.40; 0.55]	12.65 (57)	<0.001	3.22

Secara inferensial, hasil uji Welch's t mengonfirmasi temuan visual tersebut. Rataan berat pada eksperimen 2,33 kg melampaui kontrol 1,85 kg dengan selisih 0,47 kg; CI95% [0,40; 0,55] tidak melintasi nol, menandakan estimasi yang presisi. Nilai $t(57,63) = 12,65$; $p < 0,001$ menunjukkan bukti yang sangat kuat terhadap perbedaan rerata. Besaran efek Hedges' $g = 3,22$ tergolong sangat besar, mengindikasikan tumpang-tindih distribusi antarkelompok yang sangat kecil dan relevansi praktis yang tinggi. Selain itu, pemeriksaan asumsi menunjukkan normalitas yang tidak ditolak untuk variabel berat, sehingga penggunaan uji parametrik ini dapat dipandang tepat dan *robust*.

Kaitan dengan teori menjelaskan mengapa efeknya besar dan konsisten. Konsorsium PGPR meningkatkan ketersediaan hara (misalnya fiksasi N dan pelarutan P) serta memodulasi fitohormon yang

memperkaya arsitektur akar; secara tidak langsung, PGPR juga menekan patogen dan memicu ketahanan sistemik terinduksi (ISR), sehingga beban stres biotik berkurang (Lugtenberg & Kamilova, 2009; Glick, 2012; Haas & Défago, 2005; Pieterse dkk., 2014; Bashan & de-Bashan, 2010). Dalam kerangka source–sink, perbaikan fungsi akar dan status nutrisi meningkatkan pasokan asimilat serta sink strength buah selama pembelahan dan pembesaran sel, yang pada akhirnya memunculkan kenaikan berat sebagaimana diamati (Marcelis, 1996; Bihmidine dkk., 2013; Vessey, 2003).



Gambar 8. Pengaruh Pupuk Terhadap Berat Melon

Dari sisi kepentingan praktis, selisih $\approx 0,47$ kg setara kenaikan $\pm 25\%$ dibanding kontrol—ukuran dampak yang bermakna secara agronomis untuk produksi melon pasar premium. Dengan asumsi harga jual berbasis bobot, peningkatan ini berpotensi memperbaiki hasil panen per tanaman dan pendapatan tanpa menambah residu kimia, selama praktik dasar (NPK seimbang, sanitasi, irigasi) dijaga setara di kedua kelompok. Karena boxplot juga mengisyaratkan sebaran yang lebih terkonsentrasi pada eksperimen, keseragaman grade berpeluang meningkat, yang penting untuk konsistensi mutu dan efisiensi sortasi pascapanen.

Implikasi untuk penelitian mendatang mencakup replikasi multimusim dan multilokasi (terutama pada lahan liat dataran rendah) untuk menguji generalitas efek, uji dosis–waktu aplikasi (seed coating, soil drench, semprot daun) guna mengidentifikasi protokol paling efisien, serta analisis biaya–manfaat berbasis harga input/output. Di tingkat mekanistik, dianjurkan pengukuran variabel perantara—misalnya status N dan P jaringan, aktivitas enzim antioksidatif, dan profil komunitas mikroba rizosfer—untuk menegaskan jalur kausal dari PGPR menuju peningkatan sink strength (Lugtenberg & Kamilova, 2009; Pieterse dkk., 2014). Pengayaan indikator mutu (mis. °Brix, umur simpan, kerusakan pascapanen) dan model statistik multivariat (MANOVA/SEM) juga akan memperluas pemahaman terhadap trade-off atau sinergi antarindikator mutu buah (Cohen, 1988; Hedges & Olkin, 1985).

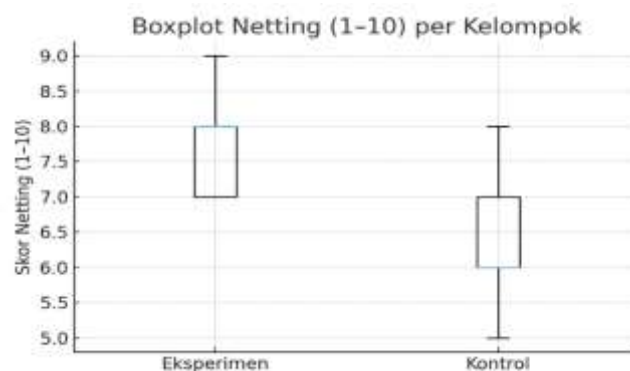
2. Pengaruh pupuk terhadap netting

Gambar 9 menunjukkan pergeseran sebaran skor netting ke arah lebih tinggi pada kelompok eksperimen dibanding kontrol. Median eksperimen berada di sekitar 8, sedangkan kontrol di sekitar 6; IQR eksperimen (≈ 7 –8) secara konsisten berada di atas IQR kontrol (≈ 6 –7). Whisker eksperimen mencapai ≈ 9 , sementara kontrol ≈ 5 –8. Tumpang-tindih antarkelompok minimal: batas atas kontrol kira-kira setara dengan median eksperimen, menandakan perbedaan yang kuat pada keseluruhan distribusi.

Secara substantif, pola ini berarti pola jala (netting) kulit melon pada perlakuan hayati lebih rapat dan lebih seragam. Distribusi yang lebih “terangkat” pada eksperimen konsisten dengan ringkasan statistik sebelumnya (selisih rata-rata $\approx +1,7$ poin) dan mendukung kesimpulan uji *t* Welch bahwa perlakuan hayati meningkatkan skor netting secara signifikan.

Dari sisi metodologis, boxplot juga memperlihatkan sifat data yang bertingkat (skala 1–10), selaras dengan temuan uji normalitas bahwa skor netting tidak berdistribusi normal. Karena itu, di samping uji parametrik yang sangat signifikan, uji pendamping nonparametrik (Mann–Whitney U) atau prosedur robust layak dilaporkan untuk menguatkan inferensi.

Secara praktis, kenaikan skor netting pada kelompok eksperimen berimplikasi pada grading mutu premium yang lebih mudah dan potensi harga jual lebih baik, karena netting rapat dan merata menjadi ciri visual penting dalam pemasaran rock melon. Temuan visual ini, bersama hasil uji statistik, secara konsisten mendukung Hipotesis 2 bahwa perlakuan hayati memperbaiki kerapatan netting dibanding perlakuan biasa.



Gambar 9. Pengaruh Pupuk terhadap Netting

Berdasarkan Tabel 4, Rerata skor netting pada kelompok eksperimen tercatat 7,87, sedangkan kontrol 6,13; selisih rata-rata (E–K) = 1,73 poin dengan CI 95% [1,34; 2,12], yang tidak melintasi nol sehingga estimasi perbedaan dinilai presisi. Uji Welch’s *t* menunjukkan $t(\approx 56,1) = 8,91$; $p < 0,001$, menandakan bukti sangat kuat bahwa perlakuan hayati menghasilkan netting yang lebih rapat/seragam. Besaran efek Hedges’ $g \approx 2,27$ termasuk sangat besar, mengimplikasikan tumpang-tindih distribusi

antarkelompok yang minimal dan dampak praktis yang menonjol.

TABEL 4.

Pengaruh pupuk terhadap kerapatan netting (uji t Welch)

Indikator	Rata-rata (Eksperimen)	Rata-rata (Kontrol)	Selisih rata-rata (E-K)	CI 95% [bawah, atas]	t (df Welch)	p-value	Hedges' g
Netting (1-10)	7.87	6.13	1.73	[1.34, 2.1]	8.91 (56.14)	<0.001	2.27

Secara teoretis, peningkatan kerapatan netting selaras dengan kerangka PGPR dan source-sink: konsorsium rizobakteri meningkatkan ketersediaan hara dan memodulasi fitohormon (jalur langsung), sekaligus menekan patogen serta memicu ketahanan sistemik terinduksi/ISR (jalur tidak langsung), sehingga homeostasis epidermis lebih stabil selama pembesaran buah (Lugtenberg & Kamilova, 2009; Glick, 2012; Haas & Défago, 2005; Pieterse dkk., 2014). Dengan pasokan asimilat yang lebih mantap dan sink strength buah yang lebih kuat, proses mikroretak dan suberisasi kulit cenderung berlangsung serempak, menghasilkan pola jala yang rapat dan konsisten (Marcelis, 1996; Bihmidine dkk., 2013; Vessey, 2003).

Dari sisi penerapan, selisih $\approx 1,7$ poin pada skala 1-10 bermakna untuk grading mutu premium karena netting yang rapat dan merata meningkatkan *visual appeal*, mempermudah seleksi, dan berpotensi memperbaiki harga jual. Catatan metodologis: hasil uji normalitas menunjukkan skor netting cenderung tidak normal (skala bertingkat), sehingga di samping uji parametrik yang sangat signifikan ini, analisis pendamping nonparametrik (Mann-Whitney U) dianjurkan untuk mengonfirmasi robust-nya temuan. Secara keseluruhan, bukti yang diperoleh mendukung Hipotesis 2 bahwa perlakuan hayati meningkatkan kerapatan netting.

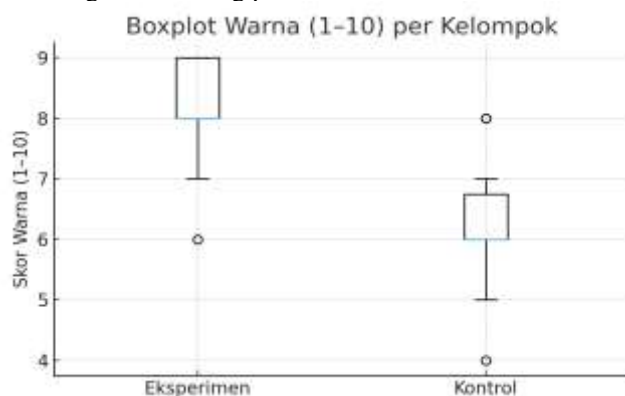
3. Pengaruh pupuk terhadap warna

Distribusi skor warna pada kelompok eksperimen jelas bergeser ke nilai lebih tinggi dibanding kontrol (lihat gambar 10). Median eksperimen berada ≈ 8 dengan IQR $\approx 8-9$ dan whisker 7-9; terdapat satu *outlier* di sekitar 6. Pada kontrol, median ≈ 6 dengan IQR $\approx 6-7$ dan whisker 5-7, serta *outlier* di 4 dan 8. Tumpang-tindih antarbox minimal: batas atas kontrol (~ 7) kira-kira bersinggungan dengan batas bawah eksperimen (~ 8). Secara visual, hal ini menandakan warna kulit pada perlakuan hayati lebih cerah/seragam di seluruh sebaran data, bukan hanya pada rata-rata.

Pola visual ini konsisten dengan hasil uji sebelumnya: rerata eksperimen 8,33 vs kontrol 6,13 (selisih +2,20 poin), $t(\approx 57) = 10,51$; $p < 0,001$; CI95% [1,78; 2,62] dan Hedges' $g \approx 2,68$ (efek sangat besar).

Karena skor 1-10 cenderung tidak normal (hasil Shapiro-Wilk menolak normalitas), uji Mann-Whitney U layak dilaporkan sebagai pendamping; namun besarnya efek membuat kesimpulan perbedaan antarkelompok tetap sangat kuat.

Secara biologis, peningkatan kecerahan/keuniforman warna sejalan dengan kerangka PGPR dan source-sink—perbaikan serapan hara, modulasi hormon, serta penurunan tekanan patogen membuat pemasakan epidermis lebih sinkron sehingga transisi warna merata. Secara praktis, skor warna yang lebih tinggi memperkuat daya tarik visual dan mempermudah grading untuk pasar premium. Temuan ini mendukung Hipotesis 3 bahwa perlakuan hayati menghasilkan warna kulit melon yang dinilai lebih cerah dan seragam dibanding perlakuan biasa.



Gambar 10. Pengaruh Pupuk terhadap Warna Buah

Rerata skor warna pada kelompok eksperimen sebesar 8,33 melampaui kontrol 6,13, dengan selisih rata-rata = 2,20 poin pada skala 1-10. CI 95% [1,78; 2,62] tidak melintasi nol, mengindikasikan estimasi yang presisi. Uji Welch's t memberikan $t(57,10) = 10,51$; $p < 0,001$, sehingga terdapat bukti sangat kuat bahwa perlakuan hayati meningkatkan persepsi kecerahan/keuniforman warna kulit melon dibanding perlakuan biasa. Besaran efek Hedges' $g = 2,68$ tergolong sangat besar, menunjukkan tumpang-tindih distribusi yang minimal dan dampak praktis yang menonjol.

TABEL 5.

Pengaruh pupuk terhadap warna (uji t Welch)

Indikator	Rata-rata (Eksperimen)	Rata-rata (Kontrol)	Selisih rata-rata (E-K)	CI 95% [bawah, atas]	t (df Welch)	p-value	Hedges' g
Warna (1-10)	8.33	6.13	2.2	[1.78, 2.62]	10.51 (57.1)	<0.001	2.68

Secara teoritis, peningkatan skor warna selaras dengan kerangka PGPR dan source sink: perbaikan

ketersediaan hara dan modulasi fitohormon oleh rizobakteri (jalur langsung), serta penekanan patogen dan pemicu ISR (jalur tidak langsung), menstabilkan fisiologi epidermis sehingga pemasakan berlangsung lebih sinkron dan transisi warna menjadi lebih merata (Lugtenberg & Kamilova, 2009; Glick, 2012; Haas & Défago, 2005; Pieterse dkk., 2014). Perbaikan fungsi akar dan status nutrisi juga meningkatkan pasokan asimilat dan sink strength buah, yang mendukung pembentukan atribut visual yang lebih seragam (Marcelis, 1996; Bihmidine dkk., 2013; Vessey, 2003).

Dari sisi penerapan, kenaikan $\approx 2,20$ poin pada skala 1–10 berarti daya tarik visual dan keseragaman grade yang lebih baik dua aspek penting untuk pasar premium dan efisiensi sortasi. Mengingat skor bersifat bertingkat, hasil ini dapat dilengkapi dengan uji Mann–Whitney U sebagai analisis pendamping; namun besarnya efek dan interval kepercayaan yang sempit membuat kesimpulan perbedaan antarkelompok tetap sangat kuat. Temuan ini konsisten dengan Hipotesis 3 bahwa perlakuan hayati menghasilkan warna kulit melon yang lebih cerah/seragam dibanding pupuk–pestisida biasa.

C. Diskusi

Penerapan pupuk–pestisida hayati berbasis konsorsium rizobakteri menunjukkan peningkatan mutu buah melon yang konsisten pada tiga indikator utama—berat, kerapatan netting, dan kecerahan/keuniforman warna. Kenaikan mutu tercermin bukan hanya pada pergeseran rerata, tetapi juga pada sebaran nilai yang cenderung lebih sempit, menandakan keseragaman hasil yang lebih baik pada saat panen.

Secara mekanistik, temuan ini selaras dengan kerangka rizobakteri pemacu pertumbuhan tanaman, ketahanan sistemik terinduksi, dan teori sumber serapan. Peningkatan ketersediaan hara dan modulasi fitohormon memperkuat fungsi akar dan memperluas zona serapan, sementara penekanan patogen menurunkan beban stres. Kombinasi keduanya menstabilkan aliran asimilat serta memperkuat daya serap buah sebagai “sink”, sehingga pembesaran buah lebih optimal, pembentukan jaring kulit (netting) lebih teratur, dan pemasakan epidermis berlangsung lebih sinkron.

Dari sisi metodologis, rancangan dua kelompok dengan pemupukan dasar yang diseragamkan mendukung atribusi efek kepada perlakuan hayati. Asumsi parametrik terpenuhi untuk berat, sedangkan sifat bertingkat pada skor netting dan warna diimbangi dengan analisis pendamping nonparametrik/robust. Konvergensi bukti pola pada boxplot, perbedaan rerata yang konsisten, serta ukuran efek yang kuat memberi keyakinan terhadap validitas kesimpulan.

Implikasi praktisnya jelas: intervensi hayati layak dipertimbangkan untuk meningkatkan nilai komersial melalui hasil yang lebih berat, tampilan jaring yang lebih rapat dan seragam, serta warna kulit yang lebih menarik. Keterbatasan mencakup fokus pada satu varietas, satu

lokasi, dan satu titik panen; oleh karena itu diperlukan replikasi multimusim–multilokasi, penapisan dosis dan waktu aplikasi, pengukuran reliabilitas penilai, serta pelibatan indikator instrumental (misalnya warna CIELAB) dan mediator fisiologis–mikrobiologis untuk memperkuat generalisasi dan pemahaman kausal.

IV. PENUTUP

Penerapan pupuk dan pestisida hayati berbasis PGPR pada melon varietas Madesta terbukti meningkatkan mutu buah secara konsisten dibanding praktik pemupukan biasa pada agroekosistem dataran rendah bertanah liat. Peningkatan mutu tercermin pada bobot buah yang lebih tinggi, kerapatan dan keseragaman netting yang lebih baik, serta warna kulit yang lebih cerah dan seragam. Temuan ini menguatkan kerangka teoritis yang menautkan perbaikan fungsi rizosfer, stabilitas pasokan hara, dan penguatan peran buah sebagai serapan utama dalam proses pembesaran dan pemasakan.

Disarankan agar penelitian selanjutnya mereplikasi temuan ini pada lokasi, musim, dan varietas berbeda, serta menguji variasi dosis dan waktu aplikasi. Pengukuran mediator kausal seperti status hara jaringan, kesehatan akar, dan indikator fisiologis lain perlu dilakukan untuk memperjelas mekanisme. Dari sisi praktik, teknologi hayati ini layak dipertimbangkan sebagai pendamping pemupukan dasar guna meningkatkan konsistensi mutu dan keterterimaan pasar tanpa menambah beban residu kimia.

UCAPAN TERIMA KASIH.

Penulis menyampaikan terima kasih kepada seluruh pihak yang telah memberikan dukungan dan kontribusi dalam pelaksanaan penelitian ini hingga tahap publikasi, baik dalam bentuk fasilitasi lokasi, penyediaan sarana dan prasarana, pendampingan teknis, maupun dukungan administratif. Apresiasi juga disampaikan kepada semua pihak yang terlibat secara langsung maupun tidak langsung sehingga penelitian ini dapat terlaksana dengan baik dan menghasilkan luaran ilmiah yang bermanfaat.

REFERENSI

- Bashan, Y., & de-Bashan, L. E. (2010). How the plant growth-promoting bacterium *Azospirillum* promotes plant growth—A critical assessment. In D. L. Sparks (Ed.), *Advances in Agronomy* (Vol. 108, pp. 77–136). Academic Press.
[https://doi.org/10.1016/S0065-2113\(10\)08002-8](https://doi.org/10.1016/S0065-2113(10)08002-8) (SCIRP)
- Bihmidine, S., Baker, R. F., Hoffner, C. N., & Braun, D. M. (2013). Regulation of assimilate import into sink organs: Update on molecular drivers of sink strength. *Frontiers in Plant Science*, 4, 177.
<https://doi.org/10.3389/fpls.2013.00177> (PubMed)

- CIE (Commission Internationale de l'Éclairage). (2004). Colorimetry (3rd ed.; CIE 15:2004). CIE. (Tidak ada DOI). <https://cie.co.at/publications/colorimetry-3rd-edition> (cie.co.at)
- Cliff, N. (1993). Dominance statistics: Ordinal analyses to answer ordinal questions. *Psychological Bulletin*, 114(3), 494–509. <https://doi.org/10.1037/0033-2909.114.3.494> (uwf-flvc.primo.exlibrisgroup.com)
- Glick, B. R. (2012). Plant growth-promoting bacteria: Mechanisms and applications. *Scientifica*, 2012, Article 963401. <https://doi.org/10.6064/2012/963401> (PubMed)
- Haas, D., & Défago, G. (2005). Biological control of soil-borne pathogens by fluorescent pseudomonads. *Nature Reviews Microbiology*, 3(4), 307–319. <https://doi.org/10.1038/nrmicro1129> (PubMed)
- IPGRI (International Plant Genetic Resources Institute). (2003). Descriptors for melon (*Cucumis melo* L.). Bioversity International. (Tidak ada DOI). <https://cgspace.cgiar.org/items/fa16f627-713b-40dd-835a-06a2797a8a41> (PDF: ISBN 92-9043-597-6). (CGSpace)
- Kader, A. A. (2002). Postharvest technology of horticultural crops (3rd ed.). University of California, Agriculture and Natural Resources. (Tidak ada DOI). <https://postharvest.ucdavis.edu/publication/postharvest-technology-horticultural-crops-3rd-edition> (postharvest.ucdavis.edu)
- Lugtenberg, B., & Kamilova, F. (2009). Plant-growth-promoting rhizobacteria. *Annual Review of Microbiology*, 63, 541–556. <https://doi.org/10.1146/annurev.micro.62.081307.162918> (PubMed)
- Marcelis, L. F. M. (1996). Sink strength as a determinant of dry matter partitioning in the whole plant. *Journal of Experimental Botany*, 47(Special Issue), 1281–1291. https://doi.org/10.1093/jxb/47.Special_Issue.1281 (Oxford Academic)
- Mann, H. B., & Whitney, D. R. (1947). On a test of whether one of two random variables is stochastically larger than the other. *The Annals of Mathematical Statistics*, 18(1), 50–60. <https://doi.org/10.1214/aoms/1177730491> (Project Euclid)
- McGuire, R. G. (1992). Reporting of objective color measurements. *HortScience*, 27(12), 1254–1255. <https://doi.org/10.21273/HORTSCI.27.12.1254> (ASHS)
- Pieterse, C. M. J., Zamioudis, C., Berendsen, R. L., Weller, D. M., Van Wees, S. C. M., & Bakker, P. A. H. M. (2014). Induced systemic resistance by beneficial microbes. *Annual Review of Phytopathology*, 52, 347–375. <https://doi.org/10.1146/annurev-phyto-082712-102340> (PubMed)
- Shapiro, S. S., & Wilk, M. B. (1965). An analysis of variance test for normality (complete samples). *Biometrika*, 52(3–4), 591–611. <https://doi.org/10.1093/biomet/52.3-4.591> (Oxford Academic)
- Shrout, P. E., & Fleiss, J. L. (1979). Intraclass correlations: Uses in assessing rater reliability. *Psychological Bulletin*, 86(2), 420–428. <https://doi.org/10.1037/0033-2909.86.2.420> (PubMed)
- Vessey, J. K. (2003). Plant growth promoting rhizobacteria as biofertilizers. *Plant and Soil*, 255, 571–586. <https://doi.org/10.1023/A:1026037216893> (SpringerLink)
- Welch, B. L. (1947). The generalization of Student's problem when several different population variances are involved. *Biometrika*, 34(1–2), 28–35. <https://doi.org/10.1093/biomet/34.1-2.28> (Oxford Academic)
- Weil, R. R., & Brady, N. C. (2016). The nature and properties of soils (15th ed.). Pearson. (Tidak ada DOI; ISBN 978-0-13-325448-8). (ResearchGate)
- Yuen, K. K. (1974). The two-sample trimmed t for unequal population variances. *Biometrika*, 61(1), 165–170. <https://doi.org/10.1093/biomet/61.1.165>.