

IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Hasil Penelitian

4.1.1 Gejala pada Tanaman Indikator terhadap TuMV

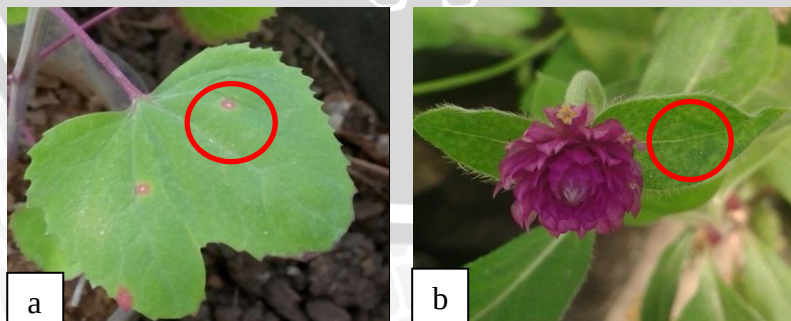
Tanaman indikator yang digunakan adalah tanaman yang rentan terhadap infeksi virus. Tanaman indikator berfungsi untuk mengidentifikasi gejala virus sebelum dilakukan inokulasi ke tanaman uji. Tanaman indikator yang digunakan adalah *Chenopodium amaranticolor* dan *Gompherena globosa*. Pengamatan pada tanaman indikator meliputi masa inkubasi dan gejala serangan TuMV.

Berdasarkan hasil pengamatan tanaman indikator *C. amaranticolor* dan *G. globosa* yang diinokulasi dengan TuMV menunjukkan perbedaan masa inkubasi dan gejala serangan (Tabel 2).

Tabel 2. Masa Inkubasi dan Bentuk Gejala TuMV pada Tanaman Indikator

Tanaman Indikator	Masa Inkubasi (hari)	Gejala
<i>C. amaranticolor</i>	9	Nekrotik, Lesio lokal
<i>G. globosa</i>	10	Klorotik

Hasil penelitian menunjukkan bahwa pada tanaman *C. amaranticolor* menunjukkan gejala nekrotik, lesio lokal dengan masa inkubasi 9 hari setelah inokulasi (Gambar 3a). Firdaus (2009), menyatakan bahwa virus TuMV dapat menimbulkan gejala nekrotik maupun lesio lokal pada tanaman *Chenopodium amaranticolor*. Sedangkan gejala yang muncul pada tanaman *Gompherena globosa* setelah diinokulasi TuMV adalah klorotik dengan masa inkubasi 10 hari setelah inokulasi (Gambar 3b).



Gambar 3. Gejala TuMV pada Tanaman Indikator (a) Gejala nekrotik, lesio lokal pada *C. amaranticolor* (b) Gejala klorotik pada *G. globosa*

Pada tanaman indikator *Gomphrena globosa* yang terserang TuMV menimbulkan gejala malformasi yaitu daun menggulung ke dalam, dan pigmen hijau (klorofil) berbaur dengan pigmen kuning (Diyansah, 2012). Tanaman indikator *Chenopodium amaranticolor* yang terserang TuMV akan menunjukkan gejala nekrotik dan lokal lesion (bercak kuning hingga kemerahan) dan tidak sistemik (Plant Virus Online, 2016).

4.1.2 Masa Inkubasi TuMV pada Tanaman Kailan

Tanaman kailan memiliki masa inkubasi yang berbeda. Gejala infeksi disebabkan oleh TuMV berawal dari tanaman berumur 1 minggu setelah inokulasi. Berdasarkan hasil analisis ragam menunjukkan masa inkubasi serangan TuMV pada tanaman kailan terdapat perbedaan yang nyata terhadap perlakuan PGPR dengan perlakuan tanpa PGPR (Lampiran 3 tabel 3).

Tabel 3. Rata-rata Masa Inkubasi Tanaman Kailan akibat Perlakuan PGPR terhadap Serangan TuMV, Pertumbuhan, dan Produksi

Perlakuan	Rata-rata (hari)
Kontrol (tanpa PGPR dengan inokulasi)	7,33 a
<i>P. fluorescens</i>	10,33 b
<i>Azotobacter</i> sp.	10,00 b
<i>B. subtilis</i>	10,33 b
<i>P. fluorescens</i> + <i>Azotobacter</i> sp.	12,00 c
<i>P. fluorescens</i> + <i>B. subtilis</i>	14,33 e
<i>Azotobacter</i> sp. + <i>B. subtilis</i>	13,33 d

Keterangan : Bilangan yang didampingi huruf yang sama pada kolom yang sama dan perlakuan yang sama menunjukkan tidak berbeda nyata berdasarkan uji BNT 5%

Hasil analisis ragam menunjukkan bahwa pada perlakuan isolat tunggal tidak memiliki perbedaan nyata terhadap masa inkubasi, pada perlakuan isolat tunggal memiliki perbedaan nyata terhadap perlakuan kombinasi, sedangkan pada perlakuan kombinasi memiliki perbedaan nyata setiap perlakuannya terhadap masa inkubasi.

Berdasarkan tabel pengaruh pemberian bakteri menunjukkan adanya kemampuan bakteri PGPR dalam memperlambat masa inkubasi pada tanaman kailan. Sehingga masa inkubasi tanaman dengan pemberian PGPR lebih lama dibandingkan dengan tanaman tanpa PGPR.

Dari tabel di atas menunjukkan masa inkubasi pada tanaman kailan berbeda nyata. Pada tanaman kailan yang tidak diberikan PGPR dengan infeksi

menunjukkan gejala tercepat yaitu dalam waktu 7,33 hari, sedangkan pada tanaman yang diberikan perlakuan PGPR kombinasi *P. fluorescens* dan *B. subtilis* memberikan masa inkubasi lebih lama dibandingkan dengan perlakuan lainnya yaitu dalam waktu 14,33 hari. Masa inkubasi yang panjang akan memberi manfaat pada tanaman yaitu dapat mencegah tingkat keparahan gejala pada tanaman kailan. Ketahanan tanaman terhadap serangan virus berkaitan dengan masa inkubasi hal ini mempengaruhi waktu virus dalam menginfeksi tanaman.

Kemampuan bakteri *P. fluorescens* dan *B. subtilis* dalam menginduksi ketahanan tanaman terhadap serangan patogen telah banyak dibuktikan. Bakteri *P. fluorescens* dan *B. subtilis* merupakan bakteri antagonis yang potensial dengan menghasilkan antibiotik dan siderofor. Siderofor berfungsi dalam menghambat pertumbuhan patogen dimana *P. fluorescens* mengikat ion Fe^{3+} dari lingkungan sehingga patogen tidak dapat memanfaatkan senyawa tersebut dan mengakibatkan pertumbuhan jamur terhambat oleh karena pertumbuhan jamur terhambat maka tanaman akan tumbuh tanpa adanya patogen. Antibiotik tersebut berperan juga dalam menekan perkembangan patogen yang ada di lingkungan pertanaman.

Salah satu fungsi umum dari PGPR yaitu sebagai pengendali patogen tanaman (bioprotektan) sehingga kombinasi bakteri *P. fluorescens* dan *B. subtilis* mampu menghasilkan masa inkubasi lebih lama. Wardana (2007), menyatakan bahwa *P. fluorescens* dan *B. subtilis* dapat menekan patogen secara langsung dengan mengeluarkan senyawa antibiotik dan induksi ketahanan sistemik pada tanaman. Hasil penelitian Aviolita (2013), bahwa perlakuan kombinasi bakteri *P. fluorescens* dan *B. subtilis* memperlambat gejala infeksi *Soybean Mosaic Virus* (SMV) pada tanaman kedelai hingga 35,33 hsi.

Penundaan masa inkubasi tersebut diduga karena dipengaruhi oleh sistem induksi resistensi terhadap rizobakteria. Rizobakteria merupakan kelompok bakteri yang hidup bebas mengkolonisasi daerah perakaran tanaman dan menguntungkan bagi pertumbuhan akar. Menurut Van Loon *et al.*, (1998), rizobakteria dapat menginduksi ketahanan tanaman dengan menginduksi produksi protein ketahanan sehingga membuat tanaman resisten terhadap induksi patogen.

4.1.3 Pengaruh PGPR terhadap Intensitas Serangan Tanaman Kailan

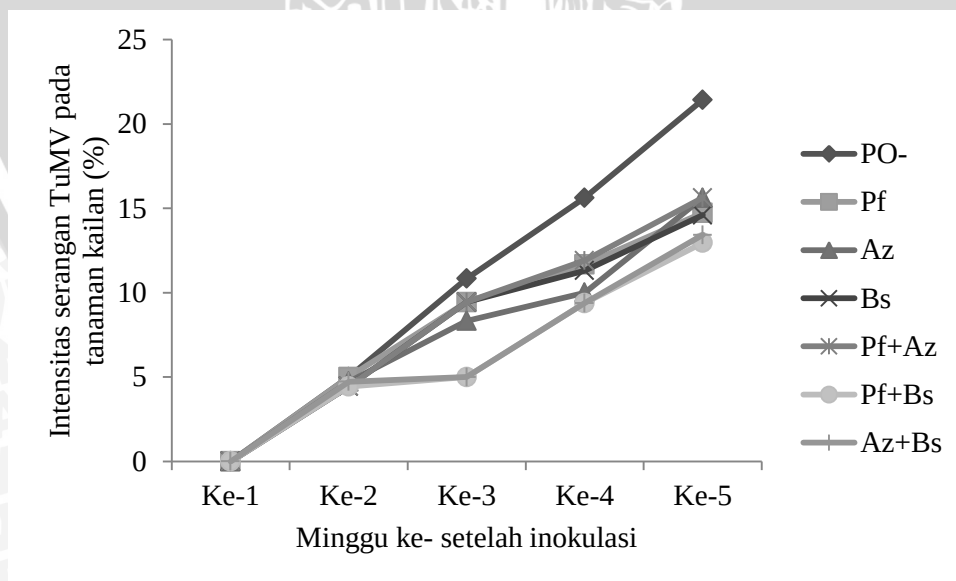
Berdasarkan analisis ragam menunjukkan perbedaan nyata pengaruh perlakuan kontrol dengan perlakuan PGPR terhadap intensitas serangan tanaman kailan. Intensitas serangan TuMV pada tanaman kailan dengan perlakuan bakteri kombinasi *P. fluorescens* dan *B. subtilis* serta kombinasi *Azotobacter* sp. dan *B. subtilis* memiliki perbedaan nyata terhadap semua perlakuan isolat tunggal maupun kombinasi *P. fluorescens* + *Azotobacter* sp. (Lampiran 7 tabel 4).

Tabel 4. Rata-rata Intensitas Serangan Tanaman Kailan akibat Perlakuan PGPR terhadap Serangan TuMV, Pertumbuhan, dan Produksi

Perlakuan	Intensitas Serangan (%)
Kontrol (tanpa PGPR dengan inokulasi)	21,43 c
<i>P. fluorescens</i>	14,73 b
<i>Azotobacter</i> sp.	15,63 b
<i>B. subtilis</i>	14,60 b
<i>P. fluorescens</i> + <i>Azotobacter</i> sp.	15,63 b
<i>P. fluorescens</i> + <i>B. subtilis</i>	12,96 a
<i>Azotobacter</i> sp. + <i>B. subtilis</i>	13,43 a

Keterangan : Bilangan yang didampingi huruf yang sama pada kolom yang sama dan perlakuan yang sama menunjukkan tidak berbeda nyata berdasarkan uji BNT 5%

Berdasarkan tabel 4. menunjukkan bahwa perbedaan perlakuan pemberian PGPR isolat tunggal maupun kombinasi mampu memberikan pengaruh signifikan terhadap intensitas serangan dibandingkan dengan perlakuan kontrol.

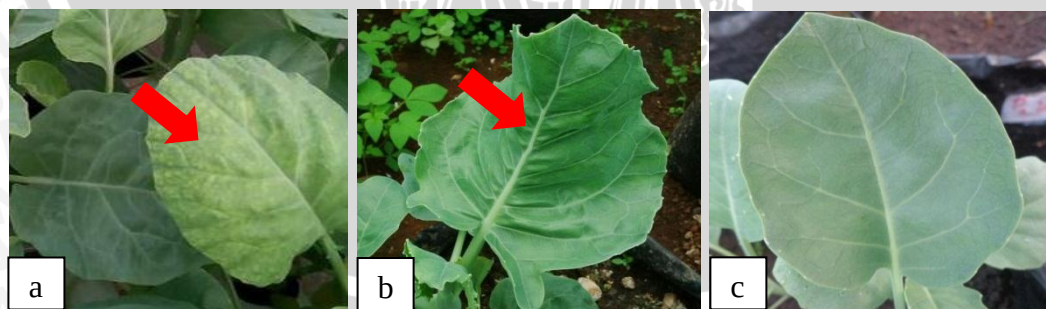


Gambar 4. Grafik pengaruh PGPR terhadap intensitas serangan TuMV

Berdasarkan gambar 4. grafik yang menunjukkan nilai rerata intensitas serangan yang dilakukan pengamatan setiap minggu. Hasil grafik menunjukkan bahwa pada perlakuan kontrol rerata intensitas serangan lebih besar dibandingkan dengan perlakuan PGPR. Pada grafik terlihat bahwa pada perlakuan PGPR dengan kombinasi bakteri *P. fluorescens* dan *B. subtilis* serta kombinasi bakteri *Azotobacter* sp. dan *B. subtilis* mampu menekan intensitas serangan TuMV lebih tinggi.

Semakin rendah rata-rata masa inkubasi maka intensitas serangan semakin tinggi dan apabila semakin tinggi rata-rata masa inkubasi maka intensitas serangan semakin rendah. Tanaman kailan yang diberikan perlakuan PGPR kombinasi bakteri *P. fluorescens* dan *B. subtilis* menunjukkan gejala serangan pada 14 hsi. Hasil penelitian menunjukkan intensitas serangan terendah yaitu pada perlakuan PGPR kombinasi bakteri *P. fluorescens* dan *B. subtilis* serta kombinasi bakteri *Azotobacter* sp. dan *B. subtilis* yaitu 12,96 % dan 13,43 %. Sedangkan intensitas serangan paling parah yaitu pada perlakuan kontrol (tanpa PGPR dengan inokulasi).

Berdasarkan hasil pengamatan, gejala serangan yang disebabkan oleh TuMV terlihat pada saat tanaman berumur 2 minggu setelah inokulasi. Gejala yang muncul akibat infeksi pada tanaman kailan adalah mosaik dan malformasi (Gambar 5). Abadi (2000), menyatakan bahwa virus menyebabkan gejala klorosis seperti mosaik, *vein banding*, *vein clearing*, keriting, kerdil, dan perubahan bentuk yang tidak normal.



Gambar 5. Gejala TuMV pada Kailan a. Mosaik, b. Malformasi, c. Daun Sehat

Hasil pengamatan menunjukkan bahwa pada pengamatan 7 msi belum muncul serangan penyakit. Pada 14 msi, 21 msi, 28 msi, dan 35 msi mulai muncul serangan. Serangan paling banyak yaitu pada perlakuan kontrol (tanpa PGPR

dengan inokulasi), sedangkan serangan paling ringan yaitu pada perlakuan PGPR kombinasi bakteri *P. fluorescens* dan *B. subtilis* serta kombinasi *Azotobacter* sp. dan *B. subtilis*. Berdasarkan hasil penelitian Aviolita (2013), menyatakan bahwa perlakuan kombinasi bakteri *P. fluorescens* dan *B. subtilis* pada tanaman kedelai memiliki intensitas serangan *Soybean Mosaic Virus* (SMV) yang rendah (6,83 %) jika dibandingkan perlakuan kontrol tanpa PGPR (24,15 %). Hasil penelitian melaporkan bahwa PGPR mampu menekan serangan penyakit dikarenakan adanya senyawa metabolit yang dihasilkan dari masing-masing jenis bakteri.

Rendahnya intensitas serangan TuMV pada tanaman kailan yang diberikan perlakuan PGPR diduga disebabkan oleh kemampuan bakteri masing-masing dan menghasilkan senyawa yang menguntungkan. Kemampuan bakteri *Azotobacter* sp. dalam memfiksasi nitrogen dapat menjadikan salah satu faktor rendahnya intensitas serangan. Hal ini didukung oleh pendapat Gardner *et al.*, (1991), bahwa beberapa jenis bakteri PGPR merupakan penambat N₂ dari udara seperti *Azotobacter* sp., jika bakteri tersebut berasosiasi dengan perakaran tanaman maka dapat membantu tanaman memperoleh nitrogen melalui proses fiksasi nitrogen oleh mikroorganisme-mikroorganisme tersebut, sehingga unsur hara yang dibutuhkan oleh tanaman akan terpenuhi, dan tanaman akan tumbuh dengan baik. Kondisi lingkungan yang sehat, maka tanaman akan menjadi tahan terhadap serangan patogen.

Rendahnya intensitas serangan TuMV diduga juga disebabkan karena adanya senyawa metabolit yang dihasilkan berupa antibiotik dan siderofor yang diproduksi oleh bakteri *P. fluorescens* dan *B. subtilis*. Siderofor berperan dalam induksi resistensi atau peningkatan ketahanan tanaman terhadap OPT. Menurut Kloepper dan Schroth (1978), bahwa kemampuan PGPR sebagai agen pengendali hayati adalah karena kemampuannya bersaing untuk mendapatkan zat makanan, atau karena hasil-hasil metabolit seperti siderofor, hidrogen sianida, antibiotik, atau enzim ekstraseluler yang bersifat antagonis melawan patogen. Bakteri PGPR juga berperan dalam melindungi tanaman dari serangan patogen melalui mekanisme antibiosis, parasitisme, atau melalui peningkatan respon ketahanan tanaman (Whipps, 2001). Salah satu faktor dalam penekanan patogen tumbuhan melalui antibiosis adalah adanya antibiotik yang diproduksi. Menurut Weller dan

Cook (1983), antibiotik pertama yang digunakan dalam pengendalian hayati adalah *derivatif phenazine* yang dihasilkan oleh *P. fluorescens*.

Selain mekanisme antibiosis, PGPR *P. fluorescens* mampu berkompetisi nutrisi ion Fe yang terjadi pada kondisi dimana ion Fe dalam jumlah yang terbatas. PGPR mampu membentuk senyawa pengikat atau pengkelat ion tersebut sehingga menjadi tidak tersedia bagi mikroorganisme lain termasuk patogen. Bakteri *P. fluorescens* memiliki kemampuan dalam menginduksi ketahanan pada tanaman yang diinokulasi. Adanya ketahanan terinduksi dapat diketahui dari pengurangan gejala penyakit, perubahan faktor-faktor biokimia dalam tanaman yang menyebabkan tanaman tahan terhadap penyakit (Van Loon, 1998).

Bakteri *B. subtilis* akan memberikan proteksi terhadap infeksi serangan patogen tanaman dengan cara mekanisme pertahanan tanaman. Mekanisme pertahanan yang digunakan dapat berupa kompetisi untuk mendapatkan nutrisi, memproduksi senyawa inhibitor alelochemical dan memberikan induksi resistensi sistemik pada tanaman inang (Cawoy *et al.*, 2011). Lipopeptida merupakan kunci dari interaksi mutualistik *B. subtilis* dengan tanaman inang dengan menstimulasi mekanisme pertahanan (Ongena dan Jacques, 2008). Laporan Leeman *et al.*, (1995) menyatakan bahwa keparahan penyakit pada tanaman dengan perlakuan PGPR akan lebih rendah (gejala lebih ringan) dibandingkan dengan tanaman tanpa PGPR.

4.1.4 Pengaruh PGPR terhadap Luas Daun Tanaman Kailan

Pengukuran luas daun kailan hanya dilakukan satu kali pengamatan. Berdasarkan analisis ragam terhadap luas daun menunjukkan tidak adanya perbedaan nyata antar perlakuan kontrol (tanpa PGPR tanpa infeksi) dengan perlakuan kontrol (tanpa PGPR dengan infeksi) hal ini dikarenakan tanaman tidak diberikan PGPR sehingga tanaman mudah sekali terserang penyakit dan menyebabkan terhambatnya pertumbuhan tanaman. TuMV menyebabkan mosaik dan perubahan bentuk (malformasi) pada daun hal ini berpengaruh terhadap luas daun tanaman kailan. Sedangkan pada perlakuan kontrol terjadi perbedaan nyata pada setiap perlakuan tanaman yang telah diberikan PGPR yaitu pada perlakuan PGPR isolat tunggal serta perlakuan PGPR kombinasi. Perlakuan PGPR isolat tunggal tidak berpengaruh nyata terhadap luas daun, sedangkan perlakuan PGPR

isolat tunggal dengan PGPR kombinasi berpengaruh nyata terhadap luas daun. (Lampiran 8 tabel 5).

Pada pengamatan luas daun pengaruh yang diberikan sangat nyata yaitu pada perlakuan *P. fluorescens* dan *Azotobacter* sp., perlakuan kombinasi *P. fluorescens* dan *B. subtilis*, perlakuan kombinasi *Azotobacter* sp. dan *B. subtilis*.

Tabel 5. Rata-rata Luas Daun Tanaman Kailan akibat Perlakuan PGPR

Perlakuan	Luas Daun (cm ²)
Kontrol (tanpa PGPR tanpa inokulasi)	36,12 a
Kontrol (tanpa PGPR dengan inokulasi)	37,04 a
<i>P. fluorescens</i>	42,22 b
<i>Azotobacter</i> sp.	43,28 b
<i>B. subtilis</i>	41,67 b
<i>P. fluorescens</i> + <i>Azotobacter</i> sp.	48,14 c
<i>P. fluorescens</i> + <i>B. subtilis</i>	49,45 c
<i>Azotobacter</i> sp. + <i>B. subtilis</i>	48,32 c

Keterangan : Bilangan yang didampingi huruf yang sama pada kolom yang sama dan perlakuan yang sama menunjukkan tidak berbeda nyata berdasarkan uji BNT 5%

Berdasarkan tabel di atas tanaman yang diberikan PGPR mampu meningkatkan luas daun tanaman kailan jika dibandingkan dengan perlakuan kontrol. Hal ini dikarenakan peran PGPR sebagai biostimulan yang berfungsi meningkatkan pertumbuhan tanaman dengan memproduksi fitohormon salah satunya adalah *Indole Acetid Acid* (IAA). Hal ini didukung dengan pernyataan Wijayati *et al.*, (2004) yang menyatakan bahwa IAA merupakan hormon yang mampu meningkatkan pertumbuhan sel. Sama halnya dengan *P. fluorescens* dan *B. subtilis* juga mampu menghasilkan fitohormon berupa IAA, sehingga meningkatkan pertumbuhan tanaman.

Penelitian Tjondronegoro *et al.*, (1989) melaporkan bahwa *P. fluorescens* mampu menghasilkan hormon auksin yang berguna untuk meningkatkan pertumbuhan sel batang, menghambat proses pengguguran daun, merangsang pembentukan buah, serta merangsang pertumbuhan kambium, dan menghambat pertumbuhan tunas ketiak. Penelitian Timmusk *et al.*, (1999) melaporkan bahwa *B. subtilis* mampu menghasilkan hormon sitokinin yang berfungsi memacu pembelahan sel, mendorong pertumbuhan tunas samping dan perluasan daun.

Azotobacter sp. merupakan bakteri yang berfungsi sebagai pengikat N bebas sehingga bakteri ini mempunyai pengaruh terhadap sifat fisik dan kimia

tanah dalam meningkatkan kesuburan tanah serta sebagai pemacu tumbuh tanaman (Supriyadi, 2009). Selain mampu menambat N_2 bakteri *Azotobacter* sp. juga mampu memproduksi IAA sehingga memiliki peran ganda. Ketiga jenis bakteri yaitu *P. fluorescens*, *Azotobacter* sp. dan *B. subtilis* baik isolat tunggal maupun isolat kombinasi mampu memacu pertumbuhan tanaman khususnya pada luas daun tanaman kailan.

4.1.5 Pengaruh PGPR terhadap Tinggi Tanaman Kailan

Berdasarkan analisis ragam menunjukkan bahwa kedua perlakuan kontrol tidak menunjukkan perbedaan nyata terhadap tinggi tanaman kailan. Perlakuan terjadi perbedaan nyata yaitu pada kedua perlakuan kontrol dengan PGPR kombinasi bakteri. Sedangkan perlakuan PGPR isolat tunggal maupun kombinasi lainnya tidak berbeda nyata terhadap tinggi tanaman (Lampiran 9 tabel 6).

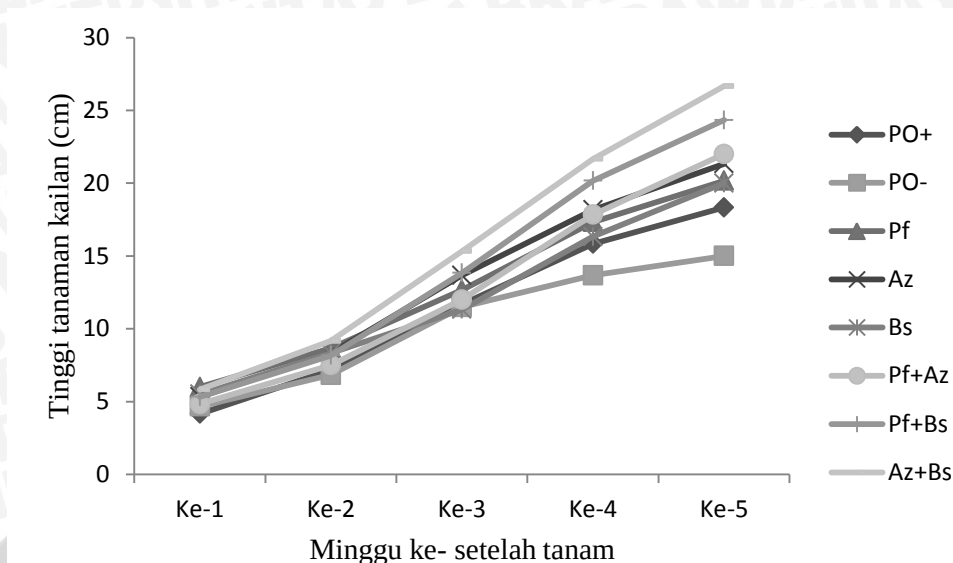
Tabel 6. Rata-rata Tinggi Tanaman Kailan akibat Perlakuan PGPR

Perlakuan	Tinggi Tanaman (cm)
Kontrol (tanpa PGPR tanpa inokulasi)	18,33 ab
Kontrol (tanpa PGPR dengan inokulasi)	15,00 a
<i>P. fluorescens</i>	20,17 bc
<i>Azotobacter</i> sp.	21,33 bcd
<i>B. subtilis</i>	20,00 bc
<i>P. fluorescens</i> + <i>Azotobacter</i> sp.	22,00 cd
<i>P. fluorescens</i> + <i>B. subtilis</i>	24,33 de
<i>Azotobacter</i> sp. + <i>B. subtilis</i>	26,67 e

Keterangan : Bilangan yang didampingi huruf yang sama pada kolom yang sama dan perlakuan yang sama menunjukkan tidak berbeda nyata berdasarkan uji BNT 5%

Data pada tabel di atas menunjukkan bahwa perlakuan kontrol (tanpa PGPR dengan inokulasi) tinggi tanaman yaitu 15 cm, hal ini menunjukkan bahwa tanaman yang tidak diberikan PGPR dan tanaman terinfeksi oleh TuMV mengalami kerdil.

Hal ini diduga bahwa PGPR mampu meningkatkan pertumbuhan tinggi tanaman kailan yang lebih baik dibandingkan dengan tanaman yang tidak diberi perlakuan PGPR.



Gambar 6. Grafik pengaruh PGPR terhadap tinggi tanaman

Berdasarkan gambar 6. menghasilkan grafik yang menunjukkan bahwa nilai rata-rata tinggi tanaman setiap minggu mengalami peningkatan. Pada perlakuan kontrol dengan inokulasi memiliki tinggi tanaman paling rendah sedangkan pada perlakuan yang diberikan PGPR tanaman mampu tumbuh dengan baik.

Kandungan masing-masing bakteri PGPR menghasilkan fitohormon. PGPR merupakan biostimulan yang berfungsi meningkatkan pertumbuhan tanaman dan memproduksi fitohormon salah satunya adalah IAA. IAA merupakan hormon yang mampu meningkatkan pertumbuhan sel, dan memiliki pengaruh pada peningkatan tinggi tanaman. Hal ini diasumsikan kemampuan PGPR menghasilkan fitohormon membuat tanaman dapat menamban luas permukaan akar-akar halus dan meningkatkan ketersediaan nutrisi di dalam tanah. Pemanjangan perakaran tanaman ini dapat membantu tanaman dalam hal meningkatkan serapan hara, sehingga proses pertumbuhan dapat berlangsung dengan optimal. Hasil penelitian Widiastuti (2010), menyatakan bahwa bakteri *Azotobacter* sp. dapat meningkatkan tinggi tanaman sorgum karena menghasilkan IAA diatas 2 Mm. Sama halnya dengan *P. fluorescens* dan *B. subtilis* juga mampu menghasilkan fitohormon berupa IAA, sehingga mampu meningkatkan pertumbuhan tanaman.

Penelitian Masnilah *et al.*, (2007), menunjukkan bahwa perlakuan PGPR dapat meningkatkan pertumbuhan akar tanaman kedelai dibandingkan dengan

perlakuan kontrol. Apabila penyerapan unsur hara dan air pada tanaman dilakukan dengan baik maka kesehatan tanaman juga akan semakin membaik.

Tanaman yang terserang virus cenderung kerdil hal ini didukung dengan pernyataan Semangun (2001), TMV yang menginfeksi tanaman cabai rawit menghambat pertumbuhan tinggi tanaman sampai mengakibatkan tanaman menjadi kerdil. Dari literature tersebut dapat diasumsikan bahwa tanaman yang terinfeksi virus maka pertumbuhannya akan terhambat sehingga tanaman dapat menjadi kerdil.

4.1.6 Pengaruh PGPR terhadap Produksi Tanaman Kailan

Berdasarkan analisis ragam menunjukkan bahwa produksi tanaman pada perlakuan kontrol dengan perlakuan PGPR berbeda nyata terhadap produksi tanaman kailan. Perlakuan PGPR isolat tunggal maupun kombinasi tidak memberikan hasil yang nyata terhadap produksi tanaman kailan (Lampiran 14 tabel 7). Tanaman kailan dengan perlakuan PGPR memiliki produksi lebih tinggi dibandingkan dengan tanaman kailan tanpa PGPR

Tabel 7. Rata-rata Produksi (gram) Tanaman Kailan akibat Perlakuan PGPR

Perlakuan	Produksi (gram)
Kontrol (tanpa PGPR tanpa inokulasi)	149,00 a
Kontrol (tanpa PGPR dengan inokulasi)	147,67 a
<i>P. fluorescens</i>	153,33 b
<i>Azotobacter</i> sp.	158,33 bc
<i>B. subtilis</i>	157,67 bc
<i>P. fluorescens</i> + <i>Azotobacter</i> sp.	163,33 d
<i>P. fluorescens</i> + <i>B. subtilis</i>	161,00 cd
<i>Azotobacter</i> sp. + <i>B. subtilis</i>	161,68 cd

Keterangan : Bilangan yang didampingi huruf yang sama pada kolom yang sama dan perlakuan yang sama menunjukkan tidak berbeda nyata berdasarkan uji BNT 5%

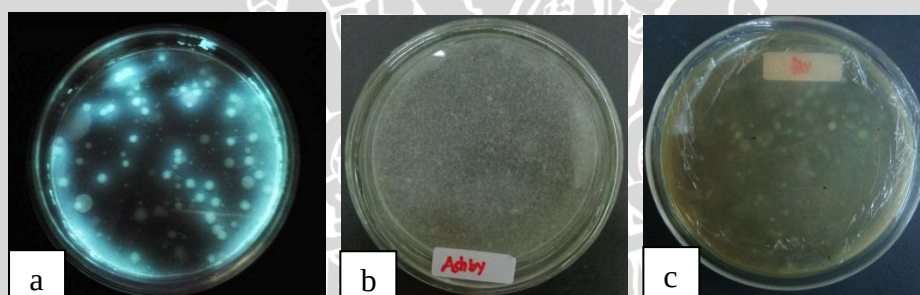
Berdasarkan tabel diatas menunjukkan bahwa perlakuan ketiga jenis bakteri PGPR tersebut yaitu bakteri *P. fluorescens*, *Azotobacter* sp. dan *B. subtilis* baik isolat tunggal maupun kombinasi mampu meningkatkan hasil produksi tanaman kailan. Mekanisme secara langsung yang dilakukan oleh PGPR yaitu dengan cara mensintesis metabolit misalnya senyawa yang merangsang pembentukan fitohormon seperti IAA atau dengan meningkatkan pengambilan nutrisi tanaman.

Bakteri *P. fluorescens* merupakan salah satu jenis bakteri yang dapat menghasilkan fitohormon dalam jumlah besar. Pada bakteri *P. fluorescens* mampu

menghasilkan hormon auksin yang berperan dalam merangsang pertumbuhan tanaman. Pada bakteri *P. fluorescens* dan *B. subtilis* juga mampu menghasilkan fitohormon berupa IAA. IAA merupakan salah satu hormon pertumbuhan tanaman yang sangat penting. IAA merupakan bentuk aktif dari hormon auksin yang dijumpai pada tanaman dan berperan meningkatkan kualitas dan hasil panen. Sedangkan pada bakteri *Azotobacter* sp. berperan sebagai penambat nitrogen dalam jumlah yang cukup tinggi sehingga bakteri ini mempunyai pengaruh terhadap sifat fisik dan kimia tanah dalam meningkatkan kesuburan tanah (Supriyadi, 2009). Apabila tanah dalam keadaan subur maka jumlah produksi tanaman akan meningkat. PGPR dengan ketiga jenis bakteri *P. fluorescens*, *Azotobacter* sp. dan *B. subtilis* diduga memberikan pengaruh terhadap produksi pada tanaman kailan.

4.1.7 Pertumbuhan Bakteri pada Perakaran Tanaman Kailan

Berdasarkan hasil pengamatan pertumbuhan bakteri pada media yang sudah dilakukan dapat dilihat bahwa bakteri tumbuh pada media isolasi (gambar 7).



Gambar 7. Hasil isolasi bakteri PGPR. (a) *P. fluorescens*, (b) *Azotobacter* sp., (c) *Bacillus subtilis*

Bentuk setiap koloni bakteri berbeda-beda. Pada media King's B terlihat koloni bakteri *P. fluorescens*, bakteri ini mempunyai ciri utama yaitu kemampuannya menghasilkan pigmen *pyoverdine* dan *pyocyanin* pada medium King's B sehingga terlihat berpendar bila terkena sinar UV. Bakteri *Azotobacter* sp. mempunyai koloni berwarna bening pada media Ashby sehingga tidak begitu terlihat koloni bakteri pada media. Sedangkan bakteri *Bacillus subtilis* mempunyai koloni berwarna kekuningan.

Tabel 8. Hasil Pengamatan Jumlah Koloni Bakteri PGPR

Perlakuan	Kerapatan Bakteri (cfu/ml)
<i>P. fluorescens</i>	$1,46 \times 10^{12}$
<i>Azotobacter</i> sp.	$7,1 \times 10^{11}$
<i>B. subtilis</i>	$1,1 \times 10^{12}$
<i>P. fluorescens</i> + <i>Azotobacter</i> sp.	$1,32 \times 10^{12} + 8,4 \times 10^{11}$
<i>P. fluorescens</i> + <i>B. subtilis</i>	$1,21 \times 10^{12} + 9,1 \times 10^{11}$
<i>Azotobacter</i> sp. + <i>B. subtilis</i>	$7,6 \times 10^{11} + 8,4 \times 10^{11}$

Kerapatan bakteri yang hidup pada perakaran tanaman kailan berbeda-beda, untuk perhitungan jumlah koloni dilakukan pada 1x24 jam dan 2x24 jam setelah isolasi (Tabel 8). Hasil pengamatan menunjukkan bahwa aplikasi bakteri PGPR tumbuh pada daerah perakaran tanaman kailan, sehingga dapat diasumsikan bahwa PGPR tersebut berperan penting dalam menghambat serangan TuMV, pertumbuhan, dan produksi tanaman kailan.

4.2 Pembahasan Umum

Kesehatan lingkungan adalah suatu kondisi lingkungan yang mampu menopang keseimbangan ekologi yang dinamis antara manusia dan lingkungannya untuk mendukung tercapainya kualitas hidup manusia yang sehat. Penggunaan pestisida yang berlebihan menjadi salah satu faktor yang berpengaruh terhadap kesehatan lingkungan. Menciptakan agroekosistem yang optimal dan berkelanjutan baik secara sosial, ekologi, ekonomi, dan etika maka penggunaan pestisida harus dikurangi. Salah satu alternatif untuk mengurangi penggunaan pestisida yaitu pemanfaatan PGPR (*Plant Growth Promoting Rhizobacteria*).

PGPR dikenal sebagai zat pengatur tumbuh yang memberikan pengaruh positif terhadap tanaman. Oswald *et al.*, (2009) berhasil membuktikan bahwa pemberian PGPR seperti *Azospirillum*, *Azotobacter*, *Bacillus* dan *Streptomyces*, meningkatkan produksi tanaman kentang hingga 40% di lapangan, 60% di green house dan 125% pada sistem budidaya aeroponik.

Berdasarkan hasil analisa ragam masing-masing variabel pengamatan meliputi masa inkubasi, intensitas serangan TuMV, luas daun, tinggi tanaman, dan produksi tanaman kailan dengan pemberian PGPR bakteri tunggal dan PGPR bakteri kombinasi akan berpengaruh terhadap serangan TuMV, pertumbuhan dan produksi tanaman kailan. Tanaman indikator yang diinokulasi virus TuMV yaitu

tanaman *C. amaranticolor* dan *G. globosa*. Gejala pada *C. amaranticolor* muncul 9 hari setelah inokulasi virus TuMV dengan gejala nekrotik, lesio lokal sedangkan pada gejala *G. globosa* muncul 10 hari setelah inokulasi virus TuMV dengan gejala klorotik.

Pertumbuhan tanaman kailan dengan perlakuan bakteri PGPR mampu menekan kejadian penyakit dan munculnya gejala. Perlakuan bakteri PGPR isolat tunggal dan kombinasi mampu mencegah infeksi virus pada waktu dilakukan inokulasi virus. Sedangkan pada perlakuan kontrol masa inkubasi lebih cepat dibandingkan dengan perlakuan PGPR. Terdapat perbedaan masa inkubasi diduga adanya pengaruh terhadap tanaman yang diaplikasikan dengan PGPR dan tanaman tanpa aplikasi PGPR. Tanaman kailan tanpa aplikasi PGPR masa inkubasi lebih cepat dibandingkan tanaman kailan dengan aplikasi PGPR.

Hasil pengamatan intensitas serangan TuMV pada tanaman kailan dengan perlakuan PGPR mampu menurunkan tingkat keparahan virus dibandingkan dengan perlakuan tanpa PGPR. Gejala serangan yang muncul pada tanaman kailan yaitu mosaik dan malformasi pada daun tanaman. Pada tanaman kailan gejala yang diinokulasi TuMV tidak menunjukkan gejala yang jelas pada setiap tanaman uji yang diinokulasi hanya terdapat beberapa tanaman yang tampak gejalanya. Hal ini diduga bahwa tanaman kailan mempunyai ketahanan yang cukup baik sehingga virus TuMV tidak mudah penetrasi dan bereplika di dalam jaringan tanaman kailan. Menurut Semangun (2001) ketahanan tanaman ditentukan oleh beberapa faktor antara lain virulensi patogen, umur tanaman, kondisi tanaman dan keadaan lingkungan disekeliling tanaman. Selain itu rendahnya intensitas serangan TuMV pada tanaman yang diaplikasikan PGPR disebabkan karena adanya siderofor yang diproduksi oleh PGPR yang berperan dalam induksi resistensi atau peningkatan ketahanan tanaman terhadap OPT. Hal ini dinyatakan oleh Kloepper *et al.*, (1992), bahwa kemampuan PGPR sebagai agen pengendalian hayati karena bersaing untuk mendapatkan zat makanan, atau karena hasil-hasil metabolit seperti siderofor, antibiotik atau enzim ekstraseluler yang bersifat antagonis melawan patogen.

Ketahanan pada suatu tanaman sangat dipengaruhi oleh masa inkubasi. Masa inkubasi menjadi penentu suatu tanaman dikatakan tahan atau rentan.

Matthews (1991), membedakan reaksi ketahanan tanaman terhadap infeksi virus menjadi tiga kelompok yaitu : 1) Tanaman yang resisten terhadap infeksi yang berupa reaksi hipersensitif yaitu tanaman inang bereaksi dengan mematikan sel-sel yang terlokalisasi pada tempat yang diinokulasikan tanpa penyebaran virus lebih lanjut; 2) Tanaman toleran, ditandai virus dapat bereplikasi dan menyebar dalam tanaman tetapi pengaruhnya terhadap hasil sangat sedikit; 3) Tanaman rentan, ditandai dengan gejala penyakit sangat jelas terlihat.

Pengamatan pertumbuhan yang diamati yaitu luas daun, tinggi tanaman, dan produksi tanaman kailan. Pemberian PGPR bakteri isolat tunggal dan kombinasi memberikan pengaruh nyata terhadap pertumbuhan tanaman kailan. Hal ini diduga bahwa bakteri yang diaplikasikan memberikan peran positif pada pertumbuhan tanaman. Hasil penelitian Timmusk *et al.*, (1999) menunjukkan bahwa *Bacillus subtilis* mampu menghasilkan hormon sitokinin yang berfungsi memacu pembelahan sel dan peluasan daun. Pada bakteri *Azotobacter* sp. berperan sebagai penambat nitrogen dalam jumlah cukup tinggi sehingga berpengaruh pada sifat fisik maupun kimia tanah dalam meningkatkan kesuburan tanah. Bakteri *Pseudomonas fluorescens* mampu menghasilkan hormone auksin yang berfungsi untuk pertumbuhan sel batang.

Pengukuran luas daun tanaman diukur juga diukur pada saat panen dengan menggunakan LAM (*Leaf Area Meter*). Tanaman yang diaplikasikan PGPR mampu meningkatkan luas daun. Hal ini diduga karena bakteri pada PGPR mampu menghasilkan hormon yang berperan pada pertumbuhan tanaman.

Pengukuran tinggi tanaman dilakukan dari pangkal batang hingga titik tumbuh. Pengukuran tinggi tanaman ini, perlakuan PGPR bakteri kombinasi memberikan peran penting terhadap tinggi tanaman kailan. Pertumbuhan tanaman yang baik seperti batang, daun, dan cabang pada tanaman kailan dapat memicu tinggi nilai produksi kailan. Menurut Annisava (2013), Peningkatan bobot basah kailan merupakan total dari pertumbuhan bagian-bagian tanaman kailan itu sendiri, semakin baik pertumbuhan batang dan daun akan meningkatkan bobot segar yang selanjutnya akan meningkatkan produksi.

Pengamatan bakteri pada perakaran tanaman dilakukan untuk mengetahui pertumbuhan bakteri dalam tanah setelah diaplikasikan. Hasil pengamatan yang dilakukan dapat diketahui bahwa bakteri di dalam tanah berkembang. Hal ini dikarenakan tempat bakteri hidup cocok dengan pertumbuhan dan perkembangbiakan bakteri. Perlakuan PGPR adalah cara yang cukup baik untuk digunakan dalam perlindungan tanaman karena PGPR dapat diaplikasikan ke benih, bibit atau diaplikasikan langsung ke dalam tanah. Infeksi TuMV pada tanaman kailan yang diberikan perlakuan PGPR mampu menurunkan gejala serangan pada tanaman kailan. Sebaliknya, perlakuan tanaman yang tidak diaplikasikan dengan PGPR menjadi sangat rentan pada saat diinokulasi virus sehingga tanaman akan lebih cepat merespon keadaan virus.

Penelitian ini membuktikan bahwa perlakuan bakteri PGPR dapat menjadi salah satu alternatif pengendalian selain pestisida kimia yang mampu melindungi tanaman secara sistemik terhadap infeksi virus.

