

Dampak Perubahan Iklim terhadap Virus Timun dan Pengelolaannya

Dorthi Ester Junita Daeli^{*1}, Intan Novibriani Zendrato², Fidar Kristiana Zai³

¹⁻³ Program Studi Agroteknologi Fakultas Sains dan Teknologi, Universitas Nias, Indonesia

Alamat : Jalan Yos Sudarso No. 118/E-S, Ombolata Ulu, Gunungsitoli, Kota Gunungsitoli, Sumatera Utara 22812, Indonesia

Correspondence author : dorthiester@gmail.com

Abstract The agriculture sector is facing unprecedented challenges as a result of climate change. As temperatures continue to rise and weather patterns change, the dynamics of plant-virus interactions change significantly, requiring innovative solutions to ensure global food security. This review article examines the relationship between climate change and the prevalence and severity of cucumber virus diseases, their impact on cucumber yield and quality, and subsequent economic implications, with a focus on the critical pathogen cucumber mosaic virus (CMV). The method in this journal article uses library research, which is a method with data collection by understanding and studying theories from various literatures related to the research. The results showed that as climate change increases, it is imperative to investigate its impact on cucumber virus management, specifically how increasing temperatures and changing rainfall patterns may affect virus epidemiology and disease resistance mechanisms. In addition, exploring integrated pest management strategies that combine traditional breeding with modern biotechnology advances is essential. The application of RNA-based technologies presents a promising avenue for effective virus control, potentially reducing the economic burden on cucumber farmers.

Keywords: Cucumber, Climate, Change, Viruses, Control.

Abstrak Sektor pertanian menghadapi tantangan yang belum pernah terjadi sebelumnya sebagai akibat dari perubahan iklim. Karena suhu terus meningkat dan pola cuaca berubah, dinamika interaksi tanaman-virus berubah secara signifikan, yang membutuhkan solusi inovatif untuk memastikan keamanan pangan global. Artikel tinjauan ini mengkaji hubungan antara perubahan iklim dan prevalensi dan tingkat keparahan penyakit virus mentimun, dampaknya terhadap hasil dan kualitas mentimun, dan implikasi ekonomi berikutnya, dengan fokus pada patogen kritis virus mosaik mentimun (CMV). Metode pada artikel jurnal ini menggunakan studi pustaka (library research) yaitu metode dengan pengumpulan data dengan cara memahami dan mempelajari teori-teori dari berbagai literatur yang berhubungan dengan penelitian tersebut. Hasil penelitian menunjukkan bahwa meningkatnya perubahan iklim, sangat penting untuk menyelidiki dampaknya terhadap pengelolaan virus mentimun, khususnya bagaimana peningkatan suhu dan perubahan pola curah hujan dapat memengaruhi epidemiologi virus dan mekanisme ketahanan penyakit. Selain itu, mengeksplorasi strategi pengelolaan hama terpadu yang menggabungkan pemuliaan tradisional dengan kemajuan bioteknologi modern sangatlah penting. Penerapan teknologi berbasis RNA menghadirkan jalan yang menjanjikan untuk pengendalian virus yang efektif, yang berpotensi mengurangi beban ekonomi pada petani mentimun.

Kata Kunci: Mentimun, Perubahan, Iklim, Virus, Pengendalian.

1. PENDAHULUAN

Mentimun (*Cucumis sativus*) merupakan anggota famili Cucurbitaceae, yang terdiri dari 825 spesies dalam 118 genus (Aparna, 2023). Selain menjadi salah satu tanaman ekonomi terpenting, mentimun juga dikenal sebagai organisme model untuk mempelajari kompleksitas penentuan jenis kelamin tanaman (Turek, 2023). Mentimun dapat dipengaruhi oleh beberapa tekanan yang memengaruhi pertumbuhan dan produktivitas tanaman. Faktor-faktor seperti suhu, cahaya, kelembaban, dan ketersediaan nutrisi memiliki dampak yang signifikan terhadap perkembangan tanaman.

Ketika suhu global meningkat dan pola cuaca menjadi lebih tidak menentu, interaksi antara perubahan iklim dan pertanian semakin diakui sebagai bidang penelitian yang penting. Ekosistem alami dan kesehatan manusia menghadapi risiko yang signifikan dari perubahan ini. Suhu permukaan rata-rata Bumi telah meningkat sekitar 1,1 °C sejak abad ke-19, terutama sebagai akibat dari aktivitas manusia, khususnya pembakaran bahan bakar fosil dan penggundulan hutan. Di bawah lintasan emisi karbon dioksida saat ini, suhu diproyeksikan akan meningkat hingga 4,4 °C pada akhir abad ini. Tren pemanasan ini telah menyebabkan beberapa dampak nyata dengan implikasi signifikan bagi kesehatan manusia, termasuk bencana alam yang lebih sering dan parah, seperti badai dan kebakaran hutan, naiknya permukaan laut yang mengancam masyarakat pesisir, gangguan pada pasokan makanan dan air, dan peningkatan penyebaran penyakit yang ditularkan melalui vektor (Campbell-Lendrum, 2006).

Perubahan iklim merupakan ancaman bagi pertanian, dengan implikasi untuk hasil panen, ketahanan pangan dan stabilitas ekonomi. Tanaman menjadi lebih stres dan rentan terhadap penyakit karena suhu rata-rata meningkat dan pola curah hujan bergeser. Ini termasuk kekhawatiran tentang penyakit virus, yang telah diamati tumbuh subur dalam kondisi iklim yang berubah. Suhu yang lebih tinggi dapat meningkatkan tingkat reproduksi virus dan vektornya, yang mengarah pada insiden infeksi yang lebih tinggi pada tanaman (Tsai, 2022). Mentimun, tanaman yang ditanam secara luas dan penting secara ekonomi, rentan terhadap beberapa virus (menyebabkan penyakit mosaik), yang memiliki implikasi ekonomi bagi petani dan industri pertanian secara keseluruhan. Hasil panen yang berkurang dapat menyebabkan harga yang lebih tinggi bagi konsumen dan peningkatan kerawanan pangan, terutama di wilayah yang sangat bergantung pada produksi mentimun.

Artikel ulasan ini berfokus pada kerentanan sektor pertanian terhadap tantangan terkait iklim, khususnya untuk tanaman mentimun, dan bertujuan untuk mengatasi masalah perubahan iklim yang mendesak. Artikel ini juga mengkaji hubungan antara perubahan iklim dan prevalensi serta tingkat keparahan penyakit virus mentimun, dengan fokus pada patogen utama virus mosaik mentimun (CMV). Pengembangan varietas mentimun yang tahan virus dan penggunaan teknologi berbasis RNA untuk pengendalian virus juga dibahas dalam artikel ini.

Virus mosaik mentimun (spesies *Cucumovirus* CMV, genus *Cucumovirus*, famili *Bromoviridae*) adalah salah satu dari sepuluh virus tanaman terpenting dalam patologi molekuler tanaman (Scholthof, 2011). Ini adalah virus RNA untai tunggal positif yang sering dikaitkan dengan RNA satelit linier non-coding kecil, yang berbeda di antara genom CMV. Atas dasar urutan nukleotida dan serologi, CMV dapat dibagi menjadi subkelompok IA, IB, dan II. CMV dapat menginfeksi lebih dari 1300 spesies tanaman dan ditemukan di seluruh

dunia, tetapi terutama di daerah beriklim sedang hingga tropis. Ini ditularkan secara non-persisten oleh lebih dari 80 spesies kutu daun. CMV juga ditularkan secara mekanis, dan melalui biji atau tanaman dodder (*Cuscuta* spp.). Galur CMV dapat diperbanyak dalam *Nicotiana glutinosa* dan *N. tabacum*. Tanaman uji yang umum digunakan meliputi kacang tunggak (*Vigna unguiculata*), *Chenopodium amaranticolor*, dan *C. quinoa*, yang menunjukkan lesi lokal nekrotik setelah inokulasi mekanis CMV.

CMV menyebabkan gejala yang berbeda tergantung pada interaksi spesifik antara inang dan strain virus. Pada mentimun, CMV menyebabkan mosaik kuning atau hijau pada daun dan buah, layu tanaman dewasa, bercak-bercak, deformasi, dan enasi buah (Radouane, 2021). Hampir semua gen CMV terlibat dalam menentukan virulensi (Mochizuki, 2012). Misalnya, substitusi Arg menjadi Cys pada protein 1a (R461C) dari strain Ns nekrotik CMV menyebabkan nekrosis pada *Nicotiana* spp., sedangkan strain Rs non-nekrotik (subkelompok I, C461R) menyebabkan mosaik (Divéki, 2004). Delesi pada protein 2b, penekan pembungkaman RNA, dari strain CMV Fny (subkelompok grup IA), melemahkan gejala mosaik pada *Nicotiana* spp. dan *Arabidopsis thaliana* (Lewsey, 2009) sedangkan mutasi pada satelit RNA Y-sat melemahkan gejala klorosis pada *Nicotiana* spp. (Shimura, 2011). Short interfering RNA (siRNA) turunan Y-sat pada tanaman *N. tabacum* yang terinfeksi virus menurunkan regulasi mRNA subunit I kelatase protoporfirin magnesium tembakau (*ChI*, gen kunci yang terlibat dalam sintesis klorofil), sehingga menginduksi mosaik kuning cerah pada inang ini (Shimura, 2011). Penulis menyimpulkan bahwa siRNA turunan RNA satelit virus secara langsung memodulasi gejala penyakit virus melalui regulasi gen inang berbasis RNA silencing (Shimura, 2011).

Rekombinasi dan reassortment menyebabkan tingginya keragaman genetik CMV, yang mempersulit pengelolaannya (Roossinck, 2002). Faktor tanaman inang terlibat dalam rekombinasi intra dan intermolekuler, dan oleh karena itu CMV dapat berevolusi lebih cepat pada inang tertentu (misalnya, cabai) dibandingkan pada inang lain (misalnya, tembakau dan zucchini) (Ouedraogo, 2019).

2. METODE

Metode pada artikel jurnal ini menggunakan studi pustaka (library research) yaitu metode dengan pengumpulan data dengan cara memahami dan mempelajari teori-teori dari berbagai literatur yang berhubungan dengan penelitian tersebut. Suatu tinjauan literatur atau biasa disebut (literatur review) dari penelitian terdahulu sangat berperan untuk membentuk suatu kerangka berfikir didalam penelitian ini.

Jadi suatu pengertian metode penelitian dijelaskan (Nazir, 1988) baik dari jenis kualitatif (Hennink et al, 2020) dan maupun jenis kuantitatif (Mertens & McLaughlin 2004) hanya saja sebagai pembatasnya, penulisan ini lebih berfokus pada jenis kualitatif dengan melalui studi pustaka. Dalam penyusunan digunakan metode studi dokumen dengan instrumen berupa kamera dan perangkat computer serta jaringan internet.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Dampak Perubahan Iklim terhadap Epidemiologi Virus Mentimun

Peningkatan suhu, peningkatan kadar karbon dioksida dan perubahan ketersediaan air telah diidentifikasi oleh banyak penulis sebagai tiga faktor penting yang mempengaruhi epidemiologi virus mentimun (Tsai, 2022). Tidak ada keraguan bahwa aktivitas manusia telah mempercepat perubahan iklim dan akan semakin mempengaruhi hasil pertanian di masa depan, distribusi dan kualitas (Srivastava, 2022).

Pengaruh Suhu terhadap Virus Mentimun

Kisaran suhu optimal untuk pertumbuhan mentimun adalah antara 20 hingga 30 °C. Namun, tanaman mentimun sering mengalami stres panas selama musim panas, yang menyebabkan berkurangnya hasil panen. Selain itu, suhu tinggi (melebihi 35 °C) dapat mengganggu struktur fisiologis mentimun, yang penting untuk menjaga kualitas pasar (Olarewaju, 2023). Penelitian tentang pengaruh suhu terhadap kerentanan tanaman terhadap CMV dimulai pada tahun 1950-an. Berbagai galur CMV menunjukkan kapasitas yang berbeda untuk bereplikasi pada tanaman pada suhu 37 °C. Galur tertentu dapat bereplikasi pada daun yang diinokulasi dan menyebabkan gejala sistemik pada suhu ini. Tanaman yang terinfeksi galur ini tetap terinfeksi bahkan setelah paparan yang lama hingga 37 °C. Namun, galur lain tidak bereplikasi pada daun yang diinokulasi pada suhu ini, dan perlakuan panas berhasil menghilangkan infeksi dari galur ini. Selain itu, suhu secara signifikan memengaruhi pergerakan virus di dalam tanaman. Misalnya, strain bayam CMV tidak berkembang biak atau menyebabkan gejala pada tanaman tembakau di atas 30 °C. Sebaliknya, strain lain (kuning) menginfeksi pada suhu 36 °C dan menyebabkan gejala yang lebih parah daripada pada suhu 20 °C. Ketika tanaman yang diinokulasi terkena suhu 36 °C selama 6 jam, infeksi yang disebabkan oleh strain bayam menurun jika paparan dimulai dalam waktu 6 jam setelah inokulasi tetapi tidak setelahnya. Lebih lanjut, Kassanis (1957) menemukan bahwa panas dan kegelapan secara sinergis meningkatkan kerentanan terhadap infeksi. Tanaman yang disimpan dalam gelap pada suhu 36 °C mencapai kerentanan maksimum jauh lebih cepat daripada yang disimpan dalam

gelap pada suhu 20 °C atau dalam cahaya pada suhu 36 °C.

Stres panas secara signifikan mempengaruhi budidaya labu, memicu produksi spesies oksigen reaktif dan stres oksidatif. Suhu tinggi dan kelembaban tanah yang terbatas mengganggu proses metabolisme penting, khususnya fotosintesis, yang sangat penting untuk kesehatan tanaman dan kualitas buah. Stresor ini dapat menyebabkan pematangan berlebihan, berkurangnya masa simpan, dan meningkatnya kerentanan terhadap patogen, yang pada akhirnya menurunkan kualitas pasar dan hasil panen (Cohen, 2021).

Vektor kutu daun memainkan peran utama dalam menularkan CMV dengan menyelidiki atau memakan jaringan tanaman. Menariknya, selama 30 tahun terakhir, jumlah spesies kutu daun dan penerbangan musim semi mereka yang lebih awal telah meningkat secara signifikan. Mereka dapat tumbuh subur di musim dingin dan membutuhkan suhu khusus antara 20 dan 25 °C. Selain itu, pemanasan global diperkirakan akan meningkatkan populasi kutu daun karena waktu generasi yang cepat dan tingkat reproduksi yang tinggi, yang berpotensi menyebabkan lebih banyak generasi per tahun dan penyebaran yang lebih besar. Karena suhu yang tinggi mempercepat tingkat reproduksi, tidak hanya untuk kutu daun, tetapi juga untuk lalat putih, telah berkontribusi pada peningkatan frekuensi dan tingkat keparahan wabah virus pada tanaman yang terkena dampak (Hullé, 2010).

Meningkatnya Kadar CO₂

Peningkatan konsentrasi CO₂ adalah faktor kedua yang sangat terkait dengan perubahan iklim. Karbon dioksida adalah salah satu gas rumah kaca yang paling melimpah. Data menunjukkan bahwa konsentrasi CO₂ di atmosfer diperkirakan akan terus meningkat selama beberapa dekade mendatang. Menurut skenario, diperkirakan akan mencapai 1045 ppm pada tahun 2100 (IPCC, 2023). Peningkatan konsentrasi karbon dioksida di atmosfer meningkatkan hasil panen tetapi juga dapat memengaruhi kualitas nutrisinya. Berdasarkan studi meta-analisis oleh Dong et al. (2018), CO₂ meningkatkan akumulasi gula dan antioksidan, tetapi mengurangi konsentrasi protein, nitrat, dan mineral dalam berbagai sayuran. Pada tanaman mentimun, peningkatan konsentrasi CO₂ jangka panjang memengaruhi fotosintesis dan menurunkan konduktansi stomata dan laju transpirasi. Penulis mengamati penurunan senyawa nitrogen dan peningkatan gula dan pati dalam daun mentimun (Li, 2022). Perubahan kadar metabolit primer dan sekunder dapat menyebabkan peningkatan kerentanan terhadap patogen dan serangga herbivora (Guo, 2021). Lebih lanjut, Scandolera et al. (2024) menyatakan dalam tinjauan pustaka mereka bahwa, dari 14 penelitian yang berfokus pada efek peningkatan CO₂ pada interaksi tanaman–virus, 35% dari penelitian ini mengamati peningkatan kerentanan

tanaman terhadap virus, 29% mengamati penurunan kerentanan dan, dalam penelitian lainnya, hasilnya tidak konsisten, atau tidak ada perbedaan.

Interaksi rumit antara faktor-faktor perubahan iklim, khususnya suhu tinggi dan peningkatan kadar CO₂, sangat memengaruhi dinamika penularan virus tanaman melalui vektor kutu daun. Suhu tinggi berpotensi meningkatkan mobilitas kutu daun, sehingga meningkatkan laju penularan virus. Selain itu, kadar CO₂ yang lebih tinggi dapat menyebabkan perubahan respons tanaman terhadap infeksi virus, yang mengarah pada skenario kompleks di mana faktor abiotik (berhubungan dengan iklim) dan biotik (interaksi virus-vektor) membentuk dinamika penyakit.

Infeksi CMV pada *N. benthamiana* menunjukkan respons yang berbeda terhadap kondisi lingkungan, seperti suhu tinggi dan kadar CO₂. Dalam kondisi gabungan, titer dan gejala CMV tetap sebanding dengan yang diamati pada kondisi standar, yang menunjukkan bahwa suhu tinggi dapat membatasi efek positif peningkatan CO₂ pada akumulasi virus. Sebaliknya, peningkatan CO₂ saja secara signifikan meningkatkan kadar CMV, yang menunjukkan bahwa interaksi antara CMV dan inangnya bersifat kompleks (Toro, 2017).

Perubahan Ketersediaan Air

Perubahan dalam ketersediaan air dan frekuensi kejadian cuaca ekstrem, seperti banjir atau kekeringan, juga dapat melemahkan pertahanan tanaman, sehingga tanaman lebih rentan terhadap infeksi virus. Van Munster et al. (2017) menyelidiki bagaimana kekurangan air dan vektor kutu daun (*Myzus persicae*) dapat memengaruhi kerentanan tanaman bit terhadap virus mosaik kembang kol (CaMV) dan virus mosaik lobak (TuMV). Para peneliti menemukan bahwa tanaman yang terkena kekeringan dapat memfasilitasi penularan spesies virus yang berbeda oleh kutu daun. Menariknya, beberapa penelitian telah mengonfirmasi peningkatan toleransi kekeringan pada tanaman setelah infeksi virus, seperti virus mosaik brokoli (BMV), CMV, virus mosaik tembakau (TMV), dan virus rattle tembakau (TRV) (Mishra, 2022). Setelah infeksi CMV, baik *A. thaliana* dan *N. benthamiana* menunjukkan fenomena ini (Moreno, 2022).

Sebaliknya, banjir dan genangan air merupakan stresor lain yang memengaruhi interaksi tanaman–virus. Di bawah tekanan banjir, tanaman mungkin menunjukkan pertumbuhan dan kekuatan yang berkurang, yang merusak mekanisme pertahanan alami mereka terhadap virus. Stres fisiologis dapat menyebabkan penurunan produksi metabolit sekunder yang biasanya berperan dalam pertahanan tanaman (Aslam, 2023). Genangan air menyebabkan kondisi hipoksia di dalam tanah, yang dapat sangat memengaruhi metabolisme tanaman. Kurangnya oksigen menghambat produksi ATP di akar, yang menyebabkan kelaparan energi. Akibatnya,

kesehatan dan ketahanan tanaman melemah, membuatnya lebih rentan terhadap patogen, termasuk virus (Martínez, 2022).

Dalam konteks spesies *Olpidium*, kelembaban memainkan peran penting dalam tingkat keparahan virus mosaik. Spora *Olpidium* yang tidak aktif dapat tetap bersifat viruliferous di dalam tanah selama beberapa dekade, mempertahankan kemampuan untuk menyimpan virus bahkan saat tidak ada inang yang rentan. Peristiwa banjir dapat memfasilitasi pengangkutan spora virulen ini melalui air, sehingga meningkatkan penyebarannya ke tanaman yang sehat (Maccarone, 2013).

Oleh karena itu, penelitian intensif tentang dampak perubahan iklim terhadap penyakit tanaman sangat penting untuk mengembangkan langkah-langkah mitigasi dan adaptasi yang efektif. Pengembangan varietas mentimun yang tangguh dengan peningkatan toleransi terhadap stres abiotik dan peningkatan ketahanan terhadap penyakit sangat penting untuk mengatasi tantangan ini.

Teknik Pengendalian Virus Mentimun

Tindakan pengendalian terkini untuk virus cucurbit dapat mencakup penggunaan kultivar yang resistan, penghentian penularan vektor, penggunaan bahan tanaman yang sehat atau penghindaran infeksi (pembuangan tanaman atau gulma yang terinfeksi), pengendalian kimia dan biologis, dan praktik pertanian (Coutts, 2011). Pengendalian hayati merupakan pendekatan berkelanjutan dan ramah lingkungan untuk pengendalian virus cucurbit. Agen pengendalian hayati, metabolit isolat aktinomiset laut no. 21, secara efektif mengendalikan infeksi CMV pada mentimun melalui inokulasi ganda, perlakuan benih, dan penyemprotan daun (Latake, 2017). Aplikasi jamur mikoriza arbuskular di dalam tanah menghasilkan resistensi sistemik yang didapat pada mentimun terhadap ZYMV (Metwally, 2014). Isolat ZYMV yang dilemahkan, bernama ZYMV-2002, mengurangi dampak ZYMV pada tanaman mentimun dalam percobaan lapangan, sebuah contoh perlindungan silang (Kosaka, 2006). Penggunaan kelambu berinsektisida tahan lama (LLITN) adalah praktik pertanian yang menggabungkan taktik fisik dan kimia untuk mencegah akses serangga dan penyebaran virus tanaman yang ditularkan serangga (Dáder, 2015). LLITN menghasilkan mortalitas kutu daun yang tinggi, menghalangi invasi kutu daun, dan mengurangi kejadian infeksi CMV pada tanaman mentimun di lapangan; beberapa kelambu menyingkirkan lalat putih dalam kondisi laboratorium (Dáder, 2015).

Penelitian yang maju dalam mekanisme pembungkaman RNA antivirus dan sistem penyuntingan gen RNA-guided, clustered and regular interspaced short palindromic repeat (CRISPR)/CRISPR-associated protein (Cas) (CRISPR/Cas) telah membuka kemungkinan penggunaan teknologi berbasis RNA untuk merekayasa ketahanan virus pada tanaman (Taliensky, 2021). Pada mentimun, RNA untai ganda (dsRNA) turunan virus yang diproduksi pada tanaman transgenik menggunakan konstruksi jepit rambut atau diberikan secara eksogen, atau vaksin berbasis virus, telah digunakan untuk mengendalikan patogen virus tunggal (ZYMV) atau ganda (ZYMV, CMV) (Leibman, 2011). Inaktivasi gen inang tanaman yang diperlukan untuk infeksi virus berbasis CRISPR/Cas9 menghasilkan pengembangan tanaman mentimun yang tahan terhadap CVYV, ZYMV, dan potyvirus lainnya (Chandrasekaran, 2016).

4. KESIMPULAN

Kesimpulannya, menangani ancaman ganda berupa perubahan iklim dan penyakit virus pada mentimun memerlukan pendekatan yang beragam. Seiring dengan meningkatnya perubahan iklim, sangat penting untuk menyelidiki dampaknya terhadap pengelolaan virus mentimun, khususnya bagaimana peningkatan suhu dan perubahan pola curah hujan dapat memengaruhi epidemiologi virus dan mekanisme ketahanan penyakit. Selain itu, mengeksplorasi strategi pengelolaan hama terpadu yang menggabungkan pemuliaan tradisional dengan kemajuan bioteknologi modern sangatlah penting. Penerapan teknologi berbasis RNA menghadirkan jalan yang menjanjikan untuk pengendalian virus yang efektif, yang berpotensi mengurangi beban ekonomi pada petani mentimun. Lebih jauh, memahami dasar genetik ketahanan penyakit pada mentimun sangatlah penting. Menyelidiki bagaimana perubahan iklim memengaruhi sifat ketahanan ini akan memberikan wawasan yang diperlukan untuk mengembangkan varietas mentimun yang tangguh. Dengan mendorong kolaborasi antara peneliti, pemulia, dan petani, kita dapat mengembangkan praktik pertanian berkelanjutan yang memastikan ketahanan pangan sekaligus beradaptasi dengan tantangan yang ditimbulkan oleh perubahan iklim.

DAFTAR PUSTAKA

- Aparna, Skarzyńska, A., Pläder, W., & Pawełkiewicz, M. (2023). Impact of climate change on regulation of genes involved in sex determination and fruit production in cucumber. *Plants*, 12, 2651. <https://doi.org/10.3390/plants12122651>
- Aslam, A., Mahmood, A., Ur-Rehman, H., Li, C., Liang, X., Shao, J., Negm, S., Moustafa, M., Aamer, M., Hassan, M.U. (2023). Plant adaptation to flooding stress under changing

- climate conditions: Ongoing breakthroughs and future challenges. *Plants*, 12, 3824. <https://doi.org/10.3390/plants12123824>
- Campbell-Lendrum, D., & Woodruff, R. (2006). Comparative risk assessment of the burden of disease from climate change. *Environmental Health Perspectives*, 114, 1935–1941. <https://doi.org/10.1289/ehp.8433>
- Chandrasekaran, J., Brumin, M., Wolf, D., Leibman, D., Klap, C., Pearlsman, M., Sherman, A., Arazi, T., & Gal-On, A. (2016). Development of broad virus resistance in non-transgenic cucumber using CRISPR/Cas9 technology. *Molecular Plant Pathology*, 17, 1140–1153. <https://doi.org/10.1111/mpp.12357>
- Cohen, I., Zandalinas, S. I., Huck, C., Fritschi, F. B., & Mittler, R. (2021). Meta-analysis of drought and heat stress combination impact on crop yield and yield components. *Physiologia Plantarum*, 171, 66–76. <https://doi.org/10.1111/ppl.13225>
- Coutts, B. A., Kehoe, M. A., & Jones, R. A. C. (2013). Zucchini yellow mosaic virus: Contact transmission, stability on surfaces, and inactivation with disinfectants. *Plant Disease*, 97, 765–771. <https://doi.org/10.1094/PDIS-09-12-0851-RE>
- Dáder, B., Legarrea, S., Moreno, A., Plaza, M., Carmo-Sousa, M., Amor, F., Viñuela, E., & Fereres, A. (2015). Control of insect vectors and plant viruses in protected crops by novel pyrethroid-treated nets: Pest and plant virus control by long-lasting insecticide-treated nets. *Pest Management Science*, 71, 1397–1406. <https://doi.org/10.1002/ps.3863>
- Divéki, Z., Salánki, K., & Balázs, E. (2004). The necrotic pathotype of the cucumber mosaic virus (CMV) NS strain is solely determined by amino acid 461 of the 1a protein. *Molecular Plant-Microbe Interactions*, 17, 837–845. <https://doi.org/10.1094/MPMI.2004.17.8.837>
- Dong, J., Gruda, N., Lam, S. K., Li, X., & Duan, Z. (2018). Effects of elevated CO₂ on nutritional quality of vegetables: A review. *Frontiers in Plant Science*, 9, 924. <https://doi.org/10.3389/fpls.2018.00924>
- Guo, H., Ge, P., Tong, J., Zhang, Y., Peng, X., Zhao, Z., Ge, F., & Sun, Y. (2021). Elevated carbon dioxide levels decrease cucumber mosaic virus accumulation in correlation with greater accumulation of rgs-CaM, an inhibitor of a viral suppressor of RNAi. *Plants*, 10, 59. <https://doi.org/10.3390/plants10010059>
- Hennink, M., Hutter, I., & Bailey, A. (2020). *Qualitative research methods*. SAGE Publications Limited.
- Hullé, M., Cœur d'Acier, A., Bankhead-Dronnet, S., & Harrington, R. (2010). Aphids in the face of global changes. *Comptes Rendus Biologies*, 333, 497–503. <https://doi.org/10.1016/j.crvi.2010.01.001>
- Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC). (2023). *Climate Change 2021—The Physical Science Basis: Working Group I Contribution to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. Cambridge University Press. <https://doi.org/10.1017/9781009157896>
- Kassanis, B. (1957). Effects of changing temperature on plant virus diseases. *Advances in Virus*

- Research, 4, 221–241. [https://doi.org/10.1016/S0065-3527\(08\)60003-2](https://doi.org/10.1016/S0065-3527(08)60003-2)
- Kosaka, Y., Ryang, B.-S., Kobori, T., Shiomi, H., Yasuhara, H., & Kataoka, M. (2006). Effectiveness of an attenuated zucchini yellow mosaic virus isolate for cross-protecting cucumber. *Plant Disease*, 90, 67–72. <https://doi.org/10.1094/PD-90-0067>
- Latake, S. B., & Borkar, S. G. (2017). Characterization of marine actinomycete having antiviral activity against cucumber mosaic virus. *Current Science*, 113, 1442.
- Leibman, D., Wolf, D., Saharan, V., Zelcer, A., Arazi, T., Yoel, S., Gaba, V., & Gal-On, A. (2011). A high level of transgenic viral small RNA is associated with broad potyvirus resistance in cucurbits. *Molecular Plant-Microbe Interactions*, 24, 1220–1238. <https://doi.org/10.1094/MPMI-10-10-0222>
- Lewsey, M., Surette, M., Robertson, F. C., Ziebell, H., Choi, S. H., Ryu, K. H., Canto, T., Palukaitis, P., Payne, T., Walsh, J. A., et al. (2009). The role of the cucumber mosaic virus 2b protein in viral movement and symptom induction. *Molecular Plant-Microbe Interactions*, 22, 642–654. <https://doi.org/10.1094/MPMI-22-5-0642>
- Li, D., Dong, J., Gruda, N. S., Li, X., & Duan, Z. (2022). Elevated root-zone temperature promotes the growth and alleviates the photosynthetic acclimation of cucumber plants exposed to elevated [CO₂]. *Environmental and Experimental Botany*, 194, 104694. <https://doi.org/10.1016/j.envexpbot.2022.104694>
- Maccarone, L. D. (2013). Relationships between the pathogen *Olpidium virulentus* and viruses associated with lettuce big-vein disease. *Plant Disease*, 97, 700–707. <https://doi.org/10.1094/PDIS-10-12-0886-RE>
- Martínez-Arias, C., Witzell, J., Solla, A., Martin, J. A., Rodríguez-Calcerrada, J. (2022). Beneficial and pathogenic plant-microbe interactions during flooding stress. *Plant Cell and Environment*, 45, 2875–2897. <https://doi.org/10.1111/pce.14247>
- Mertens, D. M., & McLaughlin, J. A. (2004). Quantitative research methods: Questions of impact. In *Research and Evaluation Methods in Special Education* (pp. 51–68).
- Metwally, R. A., Taha, M. A., El-Moaty, N. M. A., & Abdelhameed, R. E. (2024). Attenuation of zucchini mosaic virus disease in cucumber plants by mycorrhizal symbiosis. *Plant Cell Reports*, 43, 54. <https://doi.org/10.1007/s00299-024-02909-9>
- Mishra, R., Shteinberg, M., Shkolnik, D., Anfoka, G., Czosnek, H., & Gorovits, R. (2022). Interplay between abiotic (drought) and biotic (virus) stresses in tomato plants. *Molecular Plant Pathology*, 23, 475–488. <https://doi.org/10.1111/mpp.13090>
- Mochizuki, T., & Ohki, S. T. (2012). Cucumber mosaic virus: Viral genes as virulence determinants. *Molecular Plant Pathology*, 13, 217–225. <https://doi.org/10.1111/j.1364-3703.2011.00746.x>
- Moreno, M., Ojeda, B., Hernández-Walias, F. J., Sanz-García, E., Canto, T., & Tenllado, F. (2022). Water deficit improves reproductive fitness in *Nicotiana benthamiana* plants infected by cucumber mosaic virus. *Plants*, 11, 1240. <https://doi.org/10.3390/plants11091240>

Nazir, M. (1988). Metode penelitian. Ghalia Indonesia.

Olarewaju, O. O., Fajinmi, O. O., Arthur, G. D., Coopoosamy, R. M., & Naidoo, K. (2023). Effect of climate change on the production of Cucurbitaceae species in North African countries. *Journal of Agricultural and Food Research*, 14, 100742. <https://doi.org/10.1016/j.jafr.2023.100742>

Ouedraogo, R. S., Pita, J. S., Somda, I. P., Traore, O., & Roossinck, M. J. (2019). Impact of cultivated hosts on the recombination of cucumber mosaic virus. *Journal of Virology*, 93, e01770-18. <https://doi.org/10.1128/JVI.01770-18>

Radouane, N., Ezrari, S., Belabess, Z., Tahiri, A., Tahzima, R., Massart, S., Jijakli, H., Benjelloun, M., Lahlali, R. (2021). Viruses of cucurbit crops: Current status in the Mediterranean region. *Phytopathologia Mediterranea*, 60, 493–519. https://doi.org/10.14601/Phytopathol_Mediterr-3276