

Aplikasi Plasma Dingin pada Produk Segar

Application of nonthermal plasma on fresh produce

Gede Arda

Program Studi Teknik Pertanian dan Biosistem, Fakultas Teknologi Pertanian, Universitas Udayana, Bali, Indonesia
email: gedearda@unud.ac.id

Abstrak

Plasma non-termal adalah gas terionisasi yang terdiri dari molekul netral, atom tereksitasi, dan molekul bermuatan. Beberapa molekul sangat reaktif sehingga bereaksi dengan cepat terhadap bahan organik atau non-organik. Karena sifatnya, plasma baru-baru ini diterapkan untuk mendekontaminasi produk pertanian dari berbagai kontaminan. Dalam produk segar seperti buah dan sayuran, plasma non-termal digunakan untuk membunuh bakteri dan mikroorganisme lain yang menempel pada permukaan produk, atau untuk mendegradasi residu pestisida yang melapisi produk. Kontaminan ini mempengaruhi kualitas produk dengan cara tertentu sehingga dapat mengurangi keuntungan yang diperoleh produsen, penanganan, dan penjual. Beberapa mekanisme yang menjelaskan bagaimana plasma non-termal mengurangi tingkat kontaminan telah diusulkan oleh para peneliti. Intinya adalah spesies reaktif merusak dinding sel mikroorganisme sehingga tidak dapat hidup atau rusak, dan mereka juga dapat bereaksi terhadap senyawa pestisida dan mendegradasinya menjadi senyawa yang tidak terlalu berbahaya. Namun, spesies reaktif yang sama tidak hanya bereaksi terhadap materi target tetapi juga bereaksi terhadap jaringan produk di sekitar plasma yang diaplikasikan dan mempengaruhi kualitas produk yang diolah. Makalah ini mengulas pengaruh plasma non-termal terhadap kualitas produk segar dari sudut pandang fisik, fisiologis, kimia, dan mikrobiologis.

Kata kunci: *plasma dingin, produk segar, sifat fisiologi, keamanan pangan*

Abstract

Non-thermal plasma is ionized gas which comprised of neutral molecules, excited atom, and charged molecules. Some of the molecules are so very reactive that react rapidly to almost organic or non-organic matter. Due to its properties, plasma is recently applied to decontaminate agricultural products from various contaminants. In the case of fresh produce such fruit and vegetable, non-thermal plasma is used to kill bacteria and other microorganisms attached to a product's surface, or to degrade the pesticide residues coating the product. These contaminants affect product quality in a certain way thus, they could reduce the profit gain by producers, handlers, and sellers. Some mechanisms explained how non-thermal plasma reduce the level of contaminant have been proposed by researchers. The point are the reactive species damage the cell wall of microorganisms making them non-viable or damaged, and they could react to pesticide compounds as well and degrade them to less harmful compounds. However, the same reactive species not only react to target-matter but also react to product tissues around the plasma applied and affect the quality of the treated product. This paper reviews the effect of non-thermal plasma on fresh product quality from physical, physiological, chemical, and microbiological viewpoints.

Keywords: *cold plasma, fresh produce, physiological properties, food safety*

PENDAHULUAN

Saat ini konsumsi masyarakat terhadap produk segar seperti buah-buahan dan sayur-sayuran meningkat seiring dengan meningkatnya kesadaran masyarakat terhadap kesehatan. Menurut data konsumsi buah dan sayur penduduk dunia tumbuh setiap tahunnya berdasarkan standar WHO yang menetapkan kecukupan konsumsi buah dan sayur adalah 200-250

gram/hari/orang (Ritchie et al., 2023). Namun peningkatan konsumsi produk segar juga mengharuskan pemasok produk segar mewaspadai keamanan produk yang didistribusikan agar tidak memicu keracunan pangan. Wabah meningkat seiring dengan meningkatnya konsumsi produk segar (Olaimat & Holley, 2012). Dilaporkan bahwa kejadian keracunan makanan sering terjadi tidak hanya di negara-negara dengan status sanitasi yang

buruk, namun juga di negara-negara dengan standar sanitasi yang baik (Al-Mazrou, 2004). Angka kejadian keracunan produk segar tahun 2019 yang dilansir laman FAO adalah keracunan akibat kontaminasi *Salmonella* yang terdapat pada naman sayuran, selada romaine, dan salad campur, *Escherichia coli* yang mengkontaminasi pepaya segar, naman sayuran, melon yang sudah dipotong, campuran buah Javiana dan kemangi segar. Hal ini menunjukkan kontaminasi bakteri patogen masih mengancam konsumen yang lebih memilih mengonsumsi produk segar.

Upaya untuk mengurangi risiko paparan kontaminan, khususnya bakteri, telah dilakukan. Sejumlah teknologi baru yang berpotensi menghilangkan *Salmonella* dapat ditemukan pada artikel review yang ditulis oleh (Gómez-López et al., 2007; Mukhopadhyay & Ramaswamy, 2012) Namun akhir-akhir ini, para penelitian pangan tertarik dengan teknologi plasma yang baru-baru ini diperkenalkan di sector pertanian yang terbukti efektif untuk meningkatkan kualitas keamanan pangan terutama sayuran dan buah-buahan segar. Telaah ini menyajikan laporan hasil penelitian yang difokuskan untuk penanganan produk segar. Meskipun aplikasi plasma dingin efektif untuk mengurangi berbagai cemaran pada permukaan produk seperti cemaran mikroorganisme atau cemaran residu pestisida, reaktivitas plasma yang tinggi juga berpotensi menurunkan kualitas produk yang dikenai paparan plasma dingin. Artikel ini bertujuan untuk memperkenalkan teknologi plasma dingin ke pembaca khususnya kalangan mahasiswa di Indonesia sehingga dapat mendorong para peneliti muda turut berkontribusi pada pengembangan teknologi plasma dingin khususnya di sector pertanian secara luas.

Apa itu plasma?

Plasma adalah fase materi yang ke empat setelah suatu materi berubah dari padat menjadi cair, dari cair menjadi gas, dan kemudian dengan tambahan energi berubah menjadi plasma. Plasma sendiri dapat dibangkitkan dengan menambahkan energi panas sehingga seluruh molekul penyusun gas tersebut mengalami disosiasi menjadi ion-ion (kation dan anion). Karena tidak ada molekul yang mampu berada pada kondisi stabil pada suhu tinggi tertentu, maka seluruh molekul berupa ion. Kondisi ini menjadikan plasma berada pada kondisi kesetimbangan termodinamik yang dicirikan oleh dua kondisi tersebut: semua molekul terionisasi, dan suhunya sama disetiap bagian plasma. Plasma yang dibangkitkan dengan energi panas disebut dengan termal plasma (plasma panas). Sebaliknya, plasma juga bisa dibangkitkan dengan berbagai cara

nirpanas, seperti medan elektromagnetik, frekuensi radio, sinar laser, atau microwave, sehingga menghasilkan plasma yang suhunya mendekati suhu ruang (plasma dingin). Namun plasma tipe ini tidak memiliki kondisi kesetimbangan termodinamik, karena hanya beberapa porsi molekul mengalami ionisasi. Sebagai molekul hanya mengalami eksitasi untuk kemudian kembali ke kondisi netralnya.

Nonthermal plasma dapat dibangkitkan dengan alat yang sudah dikembangkan oleh para peneliti. Beberapa alat pembangkit plasma yang sudah dikembangkan dan diaplikasikan dalam berbagai penelitian terkait teknologi plasma adalah Dielektrik Barrier Discharge (DBD system), plasma jet discharge, corona plasma discharge, dan plasma pen discharge, arc plasma discharge. Dengan DBD system, gas berada di suatu celah antara 2 elektrode yang dipisahkan oleh bahan dielektrik. Saat tegangan tinggi diberikan, maka medan magnet dibangkitkan dan mengakselerasi molekul-molekul gas sehingga dapat mengalami disosiasi, ionisasi, dan eksitasi. Konfigurasi yang sama diterapkan pada plasma jet dimana gas dihembuskan melalui saluran yang dilewatkan di antara 2 elektrode. Gas yang dihembuskan akan berubah menjadi plasma di outletnya. Sedangkan corona plasma discharge memberikan energi pada gas yang berada disekitar ujung electrode bertegangan tinggi, plasma yang berbentuk filamen secara kontinu terbentuk di ujung electrode. Modifikasi dari plasma jet dari segi ukuran adalah plasma pen discharge, dimana hembusan plasma dengan ukuran kecil (mikro) dibangkitkan dengan system yang sama dengan plasma jet, hanya saja ukurannya yang kecil menjadikan system ini dapat diaplikasikan pada target yang spesifik, misal untuk pengobatan di permukaan jaringan luka.

Meskipun plasma sudah dapat dibangkitkan dengan teknik yang hemat energi, namun karakteristik dari plasma yang dihasilkan tidak mudah untuk standarisasi ataupun dibandingkan antara satu dengan lainnya. Banyak factor yang mempengaruhi karakteristik plasma yang dihasilkan, misalnya jenis gas yang digunakan, tegangan yang dioperasikan dalam alat, konfigurasi alat pembangkit plasma, jarak antar electrode, bahkan kondisi udara luar dimana alat dioperasikan mempunyai andil untuk membentuk karakteristik plasma yang dihasilkan. Sebagai contoh, plasma yang terpapar kelembapan udara akan menghasilkan komponen penyusun plasma yang berbeda dengan gas kering. Hal ini membuat banyak laporan terkait kajian aplikasi plasma menyajikan kondisi kerja pembangkitan plasma dan karakteristik plasmanya.

Pengaruh plasma dingin terhadap produk segar Warna produk

Sifat fisik produk segar merupakan kualitas utama yang pertama kali dipertimbangkan oleh konsumen. Konsumen mampu menilai kualitas berdasarkan pengalamannya sendiri dengan menggunakan indranya; menyentuh, mencium, melihat, menggosok, menekan, atau meremas. Secara umum diterima bahwa produk segar dengan kualitas sensorik yang baik sangat berkorelasi dengan kualitas rasa dan nilai gizi yang tinggi (Wisner, 2014). Klorofil, karotenoid, antosianin, flavonoid, dan betalain adalah fitokimia yang menjadi dasar tanaman memperoleh warna pada jaringannya (Barrett et al., 2010). Zat tersebut merupakan senyawa aktif biologis yang memiliki berbagai fungsi; karotenoid (pigmen 413anjang kuning-merah) membantu jaringan melindunginya dari 413anjan oksidatif; antosianin memiliki kemampuan menangkal radikal yang tinggi, sehingga melindungi matriks antar sel, protein, dan lipid dinding selnya dari serangan spesies radikal (Stintzing & Carle, 2004).

Misra, Patil, et al., (2014) menemukan bahwa tidak ada perubahan yang signifikan terhadap warna stroberi yang diberi perlakuan plasma dingin tidak langsung selama 5 menit. Perubahan parameter warna (*color difference* ΔE) akibat perlakuan plasma dingin kurang dari 5 unit untuk semua parameter warna (L^* , a^* , dan b^*). Hasilnya dapat diterima menurut hasil yang ditemukan (Bermúdez-Aguirre & Barbosa-Cánovas, 2013). Penelitian sebelumnya menunjukkan bahwa produk segar (selada, tomat, dan wortel) yang diberikan perlakuan dengan gas ozon 2 ppm selama lebih dari 5 menit tidak mempengaruhi warna produk segar secara signifikan. Ozon merupakan salah satu spesies reaktif yang berumur 413anjang413 413anjang yang dihasilkan oleh pelepasan plasma yang memungkinkan pengolahan plasma jarak jauh (tidak langsung) memberikan efek tertentu pada produk. Meskipun konsentrasi ozon yang Misra, Patil, et al., (2014) aplikasikan jauh lebih tinggi (1000 ± 100 ppm) dibandingkan dengan yang digunakan oleh Bermúdez-Aguirre & Barbosa-Cánovas, (2013), hal ini menunjukkan bahwa parameter warna 413anjang413 tidak rentan terhadap konsentrasi gas ozon. Temuan bagus ini dapat membantu peneliti untuk lebih memperhatikan parameter penting lainnya seperti tekstur atau nilai gizi. Temuan pendukung lainnya dikemukakan oleh (Misra, Keener, et al., 2014). Hasil penelitian menunjukkan bahwa perlakuan plasma dingin selama 300 detik tidak mengubah parameter L^* , a^* , b^* secara signifikan. Ramazzina et al., (2015) melaporkan bahwa buah kiwi potong yang diberikan perlakuan

plasma dingin menunjukkan pengaruh yang positif pada tingkat kecerahannya. Penurunan kecerahan terjadi karena pengaruh penyimpanan dingin yang juga dialami oleh buah kiwi tanpa perlakuan (control). Namun hasil yang berbeda dilaporkan oleh Wang et al., (2012) dimana irisan mentimun dan wortel yang mendapat perlakuan plasma dingin mengalami perubahan warna pada permukaannya. Dampak ini diakibatkan oleh perlakuan dengan plasma dingin secara langsung melalui plasma jet dengan waktu perlakuan yang ekuivalen dengan 0,5 – 4 detik. Meskipun perubahan parameter warna terdeteksi secara numerik, namun perubahan seringkali tidak dapat dikonfirmasi oleh pengamatan visual secara langsung. Ini yang menjadikan kedua metode penentuan kualitas warna produk sebaiknya dilakukan dengan beberapa metode yang saling melengkapi untuk mengurangi bias persepsi.

Tekstur

Status turgorsitas suatu produk segar mudah dikenali konsumen melalui mulut dan gigi atau ujung jari. Oleh karena itu, parameter ini merupakan parameter penting bagi penanganan produk segar untuk dipertimbangkan dalam menerapkan perlakuan pascapanen. Status turgorsitas umumnya diidentifikasi oleh peneliti sebagai ketegaran (*firmness*) atau kekerasan (*hardness*) ketika istilah tersebut digunakan untuk buah atau sayuran segar. Perubahan tekstur buah sebelum dan sesudah panen ditentukan oleh berbagai 413anjang yang saling berkaitan seperti perubahan ukuran sel, adhesi antar sel, konversi pati menjadi gula, kehilangan air, komposisi dinding sel dan kekuatan dinding sel (Toivonen & Brummell, 2008). Proses perubahan alami selama jangka waktu tertentu pada tahap pemasakan ini diperlukan karena hal ini menunjukkan kualitas makanan. Permasalahan muncul ketika proses perubahan dipercepat oleh 413anjang fisik, kimia, atau biologis yang tidak terduga sehingga memberikan waktu lebih singkat bagi penanganan atau penjual untuk menangani atau memajang produk sebelum dikonsumsi/digunakan. Berbagai upaya diciptakan untuk mempercepat atau mengurangi percepatan penurunan tekstur produk segar.

Perlakuan plasma dingin diciptakan terutama untuk meningkatkan efektivitas 413anjang sanitasi dalam mendekontaminasi produk dari kontaminan mikro seperti mikroorganisme dan residu pestisida. Meskipun terbukti efektif dalam banyak kasus pengujian, pemberian perlakuan plasma dengan dosis berlebihan dikhawatirkan menyebabkan hilangnya kekerasan produk segar. Namun, banyak temuan yang membuktikan bahwa, dalam skala laboratorium, perlakuan plasma tidak berpengaruh

signifikan terhadap kekerasan produk segar. Perlakuan plasma dingin pada paprika, melon segar, stroberi, tomat ceri, tidak berpengaruh signifikan terhadap tingkat kekerasannya (Go et al., 2019); Tappi et al., 2016; Misra, Patil, et al., 2014; (Misra, Keener, et al., 2014).

Temuan berbeda dilaporkan oleh Lacombe et al., (2015) yang menyelidiki pengaruh busur plasma terhadap kekerasan buah blueberry. Para penulis dengan yakin menyatakan bahwa penurunan kekerasan dialami oleh blueberry yang diolah dengan plasma lebih lama dari 60an detik. Dalam sesi diskusi, penulis tidak menyimpulkan bahwa pelunakan buah semata-mata disebabkan oleh perlakuan plasma atau kekuatan mekanis lainnya selama penanganan buah. Namun, data menunjukkan bahwa kekencangan kompresi blueberry yang diberi perlakuan secara konsisten lebih rendah dibandingkan dengan 414anjang. Sebaliknya, pengaruh yang tidak nyata dari perlakuan plasma dingin terhadap tekstur ditunjukkan oleh buah kiwi potong. Kekerasan dan energi yang dibutuhkan untuk merusak jaringan buah tidak berbeda nyata setelah perlakuan diberikan (Ramazzina et al., 2015)

Mikrobiologis

(Bang et al., 2020) mempelajari kemampuan plasma dingin yang dikombinasikan dengan 414anjan pencucian untuk mengendalikan pertumbuhan *Penicillium digitatum* pada permukaan jeruk Mandarin yang terluka. Perlakuan tersebut menunjukkan bahwa aplikasi plasma dingin 27 kV selama 2 menit mengurangi kejadian penyakit dari $97,3 \pm 5,9\%$ menjadi $77,1 \pm 4,5\%$. Patut dicatat bahwa memaparkan plasma dingin pada buah jeruk Mandarin selama 2 menit dapat menyebabkan memar dan kecoklatan pada permukaan buah Mandarin. Hal ini menandakan bahwa buah mandarin rentan terhadap perlakuan plasma dingin. Reaksi pencoklatan yang intensif terjadi pada permukaan buah kemungkinan disebabkan oleh kerusakan dinding sel kulit buah yang disebabkan oleh reaksi plasma ekstensif selama perlakuan. (Lepeduš et al., 2005) menjelaskan bahwa enzim peroksidase terdapat pada kulit jeruk mandarin Unshiu (*Citrus unshiu* Marc. Cv. 'Saigon') yang dapat memicu pencoklatan enzimatik ketika terjadi oksidasi oleh plasma.

Selain efektif terhadap berbagai jenis bakteri patogen (Joshi et al., (2011); Oehmigen et al., (2010) perlakuan plasma dingin juga efektif untuk mengurangi populasi jamur, kapang dan kamir (Mravlje, Regvar, & Vogel-Mikuš, 2021; Mravlje, Regvar, Starić, et al., 2021; Scholtz et al., 2015, 2021; Veerana et al., 2022; Xiang et al., 2019).

Kandungan antioksidan

Kandungan nutrisi produk segar merupakan salah satu alasan konsumen lebih memilih mengkonsumsinya dibandingkan produk olahan. Namun, produk segar juga membutuhkan penanganan pascapanen untuk menjaga mutu juga menjaga kebersihannya dari cemaran-cemaran yang mengkontaminasinya selama perjalanan dari lahan menuju tangan konsumen. Pilihan teknologi nirpanas merupakan teknologi yang diharap-harap dapat meningkatkan volume konsumsi masyarakat terhadap produk segar juga meningkatkan jangkauan distribusi produk segar. Namun kajian yang dilakukan terhadap akibat teknologi ini masih perlu terus dikaji terkait dengan kandungan nutrisi yang dapat dipertahankan sehingga dapat diperoleh oleh konsumen. Tidak bisa dipungkiri bahwa kandungan antioksidan merupakan salah satu karakteristik produk yang sering dimunculkan untuk mendorong konsumen mengkonsumsi produk segar tertentu. Namun bagaimana teknologi plasma dingin dapat menjawab tantangan ini? Salah satu laporan dari Paixão et al., (2019) membuktikan bahwa penerapan plasma dingin pada jus Siriguela tidak mengurangi kandungan vitamin C, juga tidak mempengaruhi warna. Hasil ini menunjukkan bahwa kandungan senyawa aktif (total karotenoid) yang terkait dengan warna ada peluang bisa dipertahankan bahkan cenderung meningkat karena plasma dingin juga membantu ekstraksi senyawa ini dari sel produk yang dijadikan bahan baku jus. Total senyawa phenolic menunjukkan kandungan senyawa antioksidan dari produk. Karena reaktivitas plasma dingin sangat berpeluang untuk mengurangi kandungan senyawa berharga ini. Namun pengaruh ini sangat tergantung pada intensitas perlakuan. Beberapa laporan menunjukkan tren penurunan dan peningkatan yang berbeda, misal penurunan konsentrasi pada jus buah jambu mente, peningkatan sebesar 30% pada jus buah delima, dan 15 % pada jus cerry Maracas (Elez Garofulić et al., 2015; Herceg et al., 2016; Rodríguez et al., 2017). Jadi optimasi proses perlu dilakukan untuk memperoleh efek positif dari plasma dingin terkait dengan kandungan senyawa antioksidan.

Laju respirasi dan umur simpan

Perlakuan plasma, secara teoritis, menyebabkan kerusakan oksidatif pada bahan biologis ketika terkena spesies reaktif yang terdiri dari plasma pada konsentrasi dan waktu tertentu. Sifat oksidatif plasma berkontribusi terhadap 414anjan oksidatif pada produk segar yang diolah. Indikasi terjadinya 414anjan oksidatif dapat dideteksi dengan mengukur perubahan laju respirasi. Salah satu pertimbangan perlakuan plasma pada produk segar adalah dapat menginduksi peningkatan laju respirasi jika

intensitas perlakuan plasma melebihi paparan yang dapat ditoleransi oleh produk tersebut. Kombinasi tegangan pengolahan plasma, waktu pengolahan, dan atau sumber plasma berpengaruh signifikan terhadap kemungkinan terjadinya 415anjan oksidatif, sayangnya ambang batas produk segar terhadap pengolahan plasma sulit dibandingkan secara langsung. Oleh karena itu, satu perlakuan menghasilkan kemanjuran yang lebih baik namun hanya memberikan pengaruh yang tidak signifikan terhadap kualitas produk yang diberi perlakuan, sedangkan perlakuan yang sama mungkin memberikan hasil yang berlawanan pada produk yang berbeda. Bang et al., (2020) berhasil menilai pemberian plasma dingin 27kV selama 2 menit tidak mengubah laju respirasi secara signifikan pada buah Mandarin. Hasilnya didukung bahwa selama perlakuan plasma hanya terjadi sedikit peningkatan suhu permukaan buah ($17,4 \pm 1,0^{\circ}\text{C}$ menjadi $19,8 \pm 1,0^{\circ}\text{C}$) yang secara fisiologis tidak cukup hangat untuk menyebabkan 415anjan fisiologis pada buah. Sayangnya, penelitian tersebut tidak menunjukkan atau mengukur laju respirasi buah mandarin yang menunjukkan reaksi pencoklatan pada permukaan kulitnya akibat perlakuan yang sama selama lebih dari 2 menit. Ini akan menjadi data yang menarik bagi kita bahwa mungkin saja reaksi pencoklatan terjadi akibat kerusakan dinding sel kulit yang menyebabkan peningkatan laju respirasi. Hasil sejalan juga dilaporkan oleh Won et al., (2017) dimana sebagian besar parameter yang dikaji menunjukkan pengaruh yang tidak nyata dari plasma dingin, seperti parameter warna (hue angle), total padatan terlarut, dan kandungan asam askorbat. Pemberian perlakuan plasma dingin pada jeruk Mandarin mampu menghambat perkembangan *Penicillium italicum* dan juga mampu mempertahankan masa simpan yang setara dengan kontrol.

(Misra, Patil, et al., 2014) melakukan penelitian perlakuan plasma dingin pada stroberi segar. Mereka menemukan bahwa penerapan 60 kVRMS pada plasma 50 Hz selama 5 menit dapat ditoleransi untuk stroberi dalam hal laju respirasi. Mengukur laju respirasi stroberi di dalam toples pada suhu 10°C tidak menunjukkan adanya perubahan signifikan pada 415anjang dan laju respirasi yang diberi perlakuan plasma dingin. Relatif tingginya ambang batas perbandingan antara mandarin dan strawberry pada dua penelitian tersebut di atas tampaknya disebabkan oleh perbedaan metode pengobatan, yaitu perlakuan plasma dingin tidak langsung dan langsung. Perlakuan plasma langsung memungkinkan spesies reaktif yang berumur pendek dan 415anjang mencapai target dan bereaksi terhadapnya, sehingga efeknya lebih nyata

dibandingkan dengan perlakuan tidak langsung, asalkan parameter lainnya tetap sama.

KESIMPULAN

Teknologi plasma dingin merupakan Teknik tanpa panas yang sangat berpotensi untuk diaplikasikan untuk berbagai tujuan di sector pertanian umumnya, dan sector produk segar khususnya. Sifatnya sudah sudah banyak dipelajari memberi harapan bahwa efektifitasnya dapat meningkatkan keamanan produk segar sehingga dapat menurunkan peluang terjadinya kejadian keracunan makanan oleh mikroorganisme penyebab penyakit ataupun memperpanjang umur simpan produk dengan menurunkan populasi mikroorganisme penyebab busuk. Di Indonesia, sebagai negara tropis penghasil banyak produk dan lingkungan yang sangat cocok untuk berbagai jenis mikroorganisme pembusuk dan pathogen membutuhkan teknologi nirpanas ini untuk meningkatkan kualitas keamanannya. Masih banyak lokus-lokus penerapan yang sangat berpotensi untuk dikaji efektifitas teknologi yang masih mud aini di sector pertanian. Introduksi teknologi ini melalui berbagi saluran sangat membantu penetrasi teknologi ini.

Daftar Pustaka

- Al-Mazrou. (2004). Food poisoning. *Saudi Med J*, 25(1), 11–14. www.smj.org.sa
- Bang, I. H., Lee, E. S., Lee, H. S., & Min, S. C. (2020). Microbial decontamination system combining antimicrobial solution washing and atmospheric dielectric barrier discharge cold plasma treatment for preservation of mandarins. *Postharvest Biology and Technology*, 162(September 2019), 111102. <https://doi.org/10.1016/j.postharvbio.2019.111102>
- Barrett, D. M., Beaulieu, J. C., & Shewfelt, R. (2010). Color, flavor, texture, and nutritional quality of fresh-cut fruits and vegetables: Desirable levels, instrumental and sensory measurement, and the effects of processing. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 50(5), 369–389. <https://doi.org/10.1080/10408391003626322>
- Bermúdez-Aguirre, D., & Barbosa-Cánovas, G. V. (2013). Disinfection of selected vegetables under nonthermal treatments: Chlorine, acid citric, ultraviolet light and ozone. *Food Control*, 29(1), 82–90. <https://doi.org/10.1016/j.foodcont.2012.05.073>
- Elez Garofulić, I., Režek Jambrak, A., Milošević, S., Dragović-Uzelac, V., Zorić, Z., & Herceg, Z. (2015). The effect of gas phase plasma

- treatment on the anthocyanin and phenolic acid content of sour cherry Marasca (*Prunus cerasus* var. Marasca) juice. *LWT - Food Science and Technology*, 62(1), 894–900. <https://doi.org/10.1016/J.LWT.2014.08.036>
- Go, S. M., Park, M. R., Kim, H. S., Choi, W. S., & Jeong, R. D. (2019). Antifungal effect of non-thermal atmospheric plasma and its application for control of postharvest *Fusarium oxysporum* decay of paprika. *Food Control*, 98, 245–252. <https://doi.org/10.1016/j.foodcont.2018.11.028>
- Gómez-López, V. M., Ragaert, P., Debevere, J., & Devlieghere, F. (2007). Pulsed light for food decontamination: a review. *Trends in Food Science and Technology*, 18(9), 464–473. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2007.03.010>
- Herceg, Z., Kovačević, D. B., Kljusurić, J. G., Jambrak, A. R., Zorić, Z., & Dragović-Uzelac, V. (2016). Gas phase plasma impact on phenolic compounds in pomegranate juice. *Food Chemistry*, 190, 665–672. <https://doi.org/10.1016/J.FOODCHEM.2015.05.135>
- Joshi, S. G., Cooper, M., Yost, A., Paff, M., Ercan, U. K., Fridman, G., Friedman, G., Fridman, A., & Brooks, A. D. (2011). Nonthermal dielectric-barrier discharge plasma-induced inactivation involves oxidative DNA damage and membrane lipid peroxidation in *Escherichia coli*. *Antimicrobial Agents and Chemotherapy*, 55(3), 1053–1062. <https://doi.org/10.1128/AAC.01002-10>
- Lacombe, A., Niemira, B. A., Gurtler, J. B., Fan, X., Sites, J., Boyd, G., & Chen, H. (2015). Atmospheric cold plasma inactivation of aerobic microorganisms on blueberries and effects on quality attributes. *Food Microbiology*, 46, 479–484. <https://doi.org/10.1016/j.fm.2014.09.010>
- Lepeduš, H., Jozić, M., Štolfa, I., Pavičić, N., Hackenberger, B. K., & Cesar, V. (2005). Changes in peroxidase activity in the peel of Unshiu mandarin (*Citrus unshiu* Marc.) fruit with different storage treatments. *Food Technology and Biotechnology*, 43(1), 71–77. <https://hrcak.srce.hr/110432>
- Misra, N. N., Keener, K. M., Bourke, P., Mosnier, J. P., & Cullen, P. J. (2014). In-package atmospheric pressure cold plasma treatment of cherry tomatoes. *Journal of Bioscience and Bioengineering*, 118(2), 177–182. <https://doi.org/10.1016/j.jbiosc.2014.02.005>
- Misra, N. N., Patil, S., Moiseev, T., Bourke, P., Mosnier, J. P., Keener, K. M., & Cullen, P. J. (2014). In-package atmospheric pressure cold plasma treatment of strawberries. *Journal of Food Engineering*, 125(1), 131–138. <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2013.10.023>
- Mravlje, J., Regvar, M., Starič, P., Mozetič, M., & Vogel-Mikuš, K. (2021). Cold plasma affects germination and fungal community structure of buckwheat seeds. *Plants*, 10(5), 851. <https://doi.org/10.3390/PLANTS10050851/S1>
- Mravlje, J., Regvar, M., & Vogel-Mikuš, K. (2021). Development of Cold Plasma Technologies for Surface Decontamination of Seed Fungal Pathogens: Present Status and Perspectives. *Journal of Fungi* 2021, Vol. 7, Page 650, 7(8), 650. <https://doi.org/10.3390/JOF7080650>
- Mukhopadhyay, S., & Ramaswamy, R. (2012). Application of emerging technologies to control *Salmonella* in foods: A review. *Food Research International*, 45(2), 666–677. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2011.05.016>
- Oehmigen, K., Hähnel, M., Brandenburg, R., Wilke, C., Weltmann, K. D., & Von Woedtke, T. (2010). The role of acidification for antimicrobial activity of atmospheric pressure plasma in liquids. *Plasma Processes and Polymers*, 7(3–4), 250–257. <https://doi.org/10.1002/ppap.200900077>
- Olaimat, A. N., & Holley, R. A. (2012). Factors influencing the microbial safety of fresh produce: A review. *Food Microbiology*, 32(1), 1–19. <https://doi.org/10.1016/j.fm.2012.04.016>
- Paixão, L. M. N., Fonteles, T. V., Oliveira, V. S., Fernandes, F. A. N., & Rodrigues, S. (2019). Cold Plasma Effects on Functional Compounds of Siriguela Juice. *Food and Bioprocess Technology*, 12(1), 110–121. <https://doi.org/10.1007/s11947-018-2197-z>
- Ramazzina, I., Berardinelli, A., Rizzi, F., Tappi, S., Ragni, L., Sacchetti, G., & Rocculi, P. (2015). Effect of cold plasma treatment on physico-chemical parameters and antioxidant activity of minimally processed kiwifruit. *Postharvest Biology and Technology*, 107, 55–65. <https://doi.org/10.1016/j.postharvbio.2015.04.008>
- Ritchie, H., Rosado, P., & Roser, M. (2023). Diet Compositions. *Our World in Data*. <https://ourworldindata.org/diet-compositions>
- Rodríguez, Ó., Gomes, W. F., Rodrigues, S., & Fernandes, F. A. N. (2017). Effect of indirect cold plasma treatment on cashew apple juice (*Anacardium occidentale* L.). *LWT*, 84, 457–463. <https://doi.org/10.1016/J.LWT.2017.06.010>
- Scholtz, V., Jirešová, J., Šerá, B., & Julák, J. (2021). A Review of Microbial Decontamination of Cereals by Non-Thermal Plasma. *Foods* 2021,

Vol. 10, Page 2927, 10(12), 2927.

<https://doi.org/10.3390/FOODS10122927>

Scholtz, V., Pazlarova, J., Souskova, H., Khun, J., & Julak, J. (2015). Nonthermal plasma — A tool for decontamination and disinfection.

Biotechnology Advances, 33(6), 1108–1119.

<https://doi.org/10.1016/j.biotechadv.2015.01.002>

Stintzing, F. C., & Carle, R. (2004). Functional properties of anthocyanins and betalains in plants, food, and in human nutrition. *Trends in Food Science and Technology*, 15(1), 19–38.

<https://doi.org/10.1016/j.tifs.2003.07.004>

Tappi, S., Gozzi, G., Vannini, L., Berardinelli, A., Romani, S., Ragni, L., & Rocculi, P. (2016).

Cold plasma treatment for fresh-cut melon stabilization. *Innovative Food Science and Emerging Technologies*, 33, 225–233.

<https://doi.org/10.1016/j.ifset.2015.12.022>

Toivonen, P. M. A., & Brummell, D. A. (2008).

Biochemical bases of appearance and texture changes in fresh-cut fruit and vegetables.

Postharvest Biology and Technology, 48(1), 1–14.

<https://doi.org/10.1016/j.postharvbio.2007.09.004>

Veerana, M., Yu, N., Ketya, W., & Park, G. (2022).

Application of Non-Thermal Plasma to Fungal Resources. *Journal of Fungi 2022*, Vol. 8, Page 102, 8(2), 102.

<https://doi.org/10.3390/JOF8020102>

Wang, R. X., Nian, W. F., Wu, H. Y., Feng, H. Q., Zhang, K., Zhang, J., Zhu, W. D., Becker, K. H., & Fang, J. (2012).

Atmospheric-pressure cold plasma treatment of contaminated fresh fruit and vegetable slices: Inactivation and physicochemical properties evaluation.

European Physical Journal D, 66(10).

<https://doi.org/10.1140/epjd/e2012-30053-1>

Wismer, W. V. (2014). Consumer Eating Habits and Perceptions of Fresh Produce Quality. In

Postharvest Handling: A Systems Approach.

Elsevier Inc. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-408137-6.00003-X>

Won, M. Y., Lee, S. J., & Min, S. C. (2017).

Mandarin preservation by microwave-powered cold plasma treatment. *Innovative Food Science and Emerging Technologies*, 39, 25–32.

<https://doi.org/10.1016/j.ifset.2016.10.021>

Xiang, Q., Liu, X., Liu, S., Ma, Y., Xu, C., & Bai, Y. (2019). Effect of plasma-activated water on microbial quality and physicochemical characteristics of mung bean sprouts.

Innovative Food Science and Emerging Technologies, 52, 49–56.

<https://doi.org/10.1016/j.ifset.2018.11.012>