

Kombinasi Pasir dan Zeolit Pada Sistem Pendinginan ZECC (Zero Energi Cool Chamber) untuk Penyimpanan Hortikultura

The Combination of Sand and Zeolite in the ZECC (Zero Energy Cool Chamber) Cooling System for Horticultural Storage

Fachira Ulfah Paluseri^{1*}, Sutrisno¹, Emmy Darmawati¹

¹Teknik Mesin dan Biosistem, Fakultas Teknologi Pertanian, IPB University, Jalan Lingkar Akademik, Kampus IPB Dramaga, Kec. Dramaga, Kabupaten Bogor, Jawa Barat 16002, Indonesia

*Email korespondensi: fachiraulfah@apps.ipb.ac.id

Info Artikel

Diajukan: 8 Agustus 2023
Diterima: 25 September 2023

Keywords:

Cool Storage, environmentally friendly, Evaporative Cooling, Vegetable, Zero Energy Cool Chamber.

Kata Kunci:

Penyimpanan dingin, ramah lingkungan, Pendinginan Evaporatif, Sayuran, Zero Energy Cool Chamber.

Abstract

This research aims to examine the effect of sand and zeolite combinations on the temperature and RH formed inside the ZECC storage system and determine the best sand and zeolite combination for storing fresh vegetables. The constructed ZECC has dimensions of 100 (W) x 100 (L) x 50 (H) cm. The studied ZECC wall material treatments are 100% sand (Z1), 25% zeolite and 75% sand (Z2), and 50% zeolite and 50% sand (Z3). The commodities used to test the ZECC performance were tomatoes and lettuce. Quality parameters measured include moisture content, texture, color and organoleptic. The research results showed that the temperature inside the ZECC, after being loaded with tomatoes and lettuce, was lower and more constant than the external temperature throughout the storage period, as well as the RH inside which was higher than outside. The average internal temperature of the ZECC was 23.47°C, while the external temperature was 29.53°C. The average internal RH was 98.53%, and the external RH was 69.04%. The temperature and RH in the three types of ZECC were not show significant differences. The lowest quality changes both for tomatoes and lettuce were observed in Z3. The organoleptic results indicate that lettuce is acceptable to the panelists up to the 6th day of storage, while tomatoes are acceptable up to the 14th day of storage.

Abstrak

Penelitian ini bertujuan untuk menguji pengaruh kombinasi pasir dan zeolit terhadap suhu dan RH yang terbentuk pada sistem penyimpanan ZECC dan menentukan kombinasi pasir dan zeolit yang terbaik untuk penyimpanan sayuran segar. ZECC yang dibangun berukuran 100 (P) x 100 (L) x 50 (T) cm. Perlakuan bahan dinding ZECC yang dikaji adalah 100% pasir (Z1), 75% zeolit dan 25% pasir (Z2), 50% zeolit dan 50% pasir (Z3). Jenis komoditas yang digunakan untuk menguji kinerja ZECC adalah tomat dan selada. Parameter mutu yang diukur adalah kadar air, tekstur, warna, dan organoleptik. Hasil penelitian didapatkan suhu yang terbentuk di dalam ZECC setelah diberi beban berupa tomat dan selada lebih rendah dan konstan dibandingkan dengan suhu luar sepanjang penyimpanan, demikian juga dengan RH di dalam lebih besar dibandingkan dengan RH luar. Rata-rata suhu didalam dan diluar ZECC masing-masing adalah 23.47°C dan 29.53°C, sedangkan Rata-rata RH ZECC didalam dan diluar masing-masing adalah 98.53% dan 69.04%. Suhu dan RH pada ketiga ZECC tidak berpengaruh nyata. Perubahan mutu yang paling rendah baik untuk tomat maupun selada air adalah Z3. Hasil organoleptik menyatakan bahwa selada masih diterima panelis sampai hari ke6 dan tomat hingga hari ke-14 penyimpanan.

Doi: <https://doi.org/10.19028/jtep.011.3.375-389>

1. Pendahuluan

Penyimpanan dingin memiliki biaya operasional yang tinggi dan merupakan kendala utama pada petani dalam melakukan proses pascapanen. Berdasarkan masalah tersebut diperlukan suatu metode penyimpanan dingin yang tidak memerlukan listrik (*zero Energy*), murah (*Low Cost*) dan ramah lingkungan (*Eco Friendly*), salah satunya yaitu *Zero Energy Cool Chamber* (ZECC) (Islam & Morimoto, 2015). ZECC merupakan salah satu teknologi penanganan pascapanen yang ramah lingkungan dan murah, dapat digunakan untuk menyimpan buah-buahan dan sayur-sayuran setelah dipanen (Islam & Morimoto, 2015).

Penelitian ZECC perlu terus dikembangkan, salah satunya adalah pemilihan bahan dinding ZECC yang dapat mempengaruhi suhu dan RH di ruang ZECC. Seperti dalam penelitian Islam dan Marimoto (2012) menggunakan kombinasi pasir dan zeolit dengan rasio 60:40 pada dinding ZECC dapat menurunkan suhu pada tempat penyimpanan menjadi 15 °C sementara suhu luar mencapai 25 °C. Suhu dan RH yang terbentuk pada sistem penyimpanan ZECC sangat dipengaruhi oleh bahan dinding yang digunakan selain suhu dan RH lingkungan. Tujuan penelitian ini ialah mengkaji penggunaan kombinasi pasir dan zeolit sebagai pengisi dinding ZECC untuk menghasilkan suhu dan RH ZECC pada penyimpanan produk hortikultura (sayuran segar).

2. Metodologi

2.1 Alat dan Bahan

Alat yang digunakan pada penelitian ini yaitu termokopel batang tembaga tipe-T/0,3mm, *rheometer*, *chromameter*, oven, rak buah, selang.

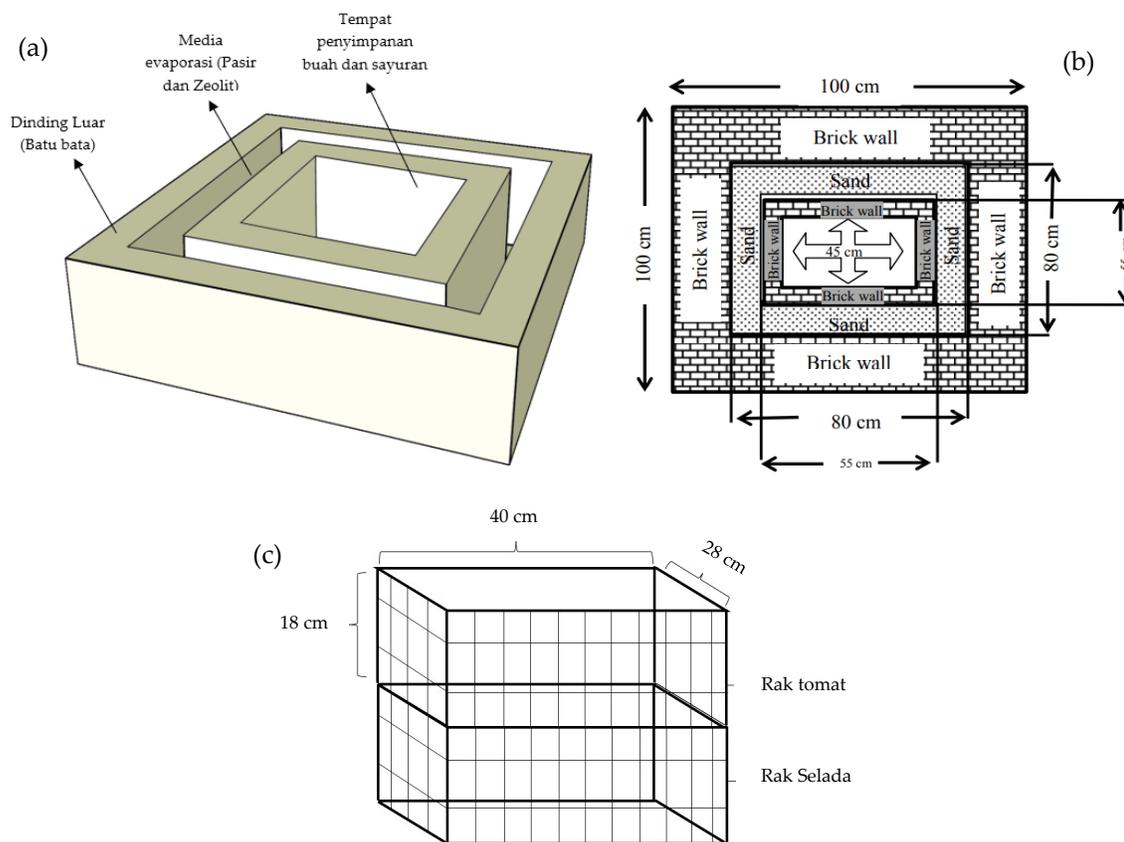
Bahan yang digunakan untuk pembuatan ZECC yaitu batu bata merah, pasir, dan zeolit. Untuk pembasahan dinding digunakan tangki air, selang, pipa dan air. Jenis hortikultura yang digunakan sebagai bahan penelitian yaitu buah tomat sebagai salah satu jenis sayuran buah dan selada sebagai jenis sayuran daun yang mudah mengalami pelayuan. Tomat dan selada diperoleh dari *Agribusiness and Technology Park*, Institut Pertanian Bogor.

2.2 Prosedur penelitian

2.2.1 Pembuatan ZECC

Tipe ZECC yang dibuat yaitu di atas permukaan tanah. Tahap pertama dilakukan pembersihan lahan/area yang akan dibangun ZECC. Lapisan dasar atau lantai ruang ZECC dibuat dari hamparan pasir yang diratakan di permukaan tanah dengan ketebalan 1cm. Dinding dibuat dari batu bata dengan dimensi bagian luar 100 (P) x 100 (L) x 50 (T) dan bagian dalam 80 (P) x 80 (L) x 50 (T) cm. Celah antara dinding luar dan dalam sekitar 7.5 cm yang diisi media pasir dan zeolit sesuai perlakuan. Area penyimpanan memiliki ukuran 45 (P) x 45 (L) x 50 (T) cm, sehingga volume ZECC 0.10125 m³.

Penutup ZECC terbuat dari daun kelapa kering berukuran 55 (P) x 55 (L) cm. Terdapat tiga bangunan ZECC yang dibangun dengan masing-masing rasio pasir dan zeolit pada dindingnya. Bangunan Z1 dengan 100% pasir, Z2 dengan rasio pasir 75% zeolit 25% dan Z3 yaitu pasir 50% zeolit 50. Pada dinding ZECC dilakukan pembasahan dengan tujuan untuk membantu proses evaporasi agar dapat menurunkan suhu di dalam ZECC. Pembasahan dinding ZECC dengan penyiraman menggunakan air yang telah ditampung pada tangki sebanyak 60l/ hari selama 24 jam tanpa jeda dan dialirkan dengan pipa paralon tiap sisi dinding ZECC, dimana masing-masing pipa memiliki 5 lubang dengan ukuran 0.8 mm (Dirpan et al., 2017). Ukuran ZECC dan rak yang digunakan dapat dilihat pada **Gambar 1**.



Gambar 1. Gambar ZECC (a), tampak atas ZECC (b) dan rak penyimpanan (c) yang digunakan.

2.2.2 Penelitian Pendahuluan

Penelitian pendahuluan dilakukan untuk mengetahui jumlah air yang digunakan pada pembasahan dinding ZECC agar menghasilkan suhu dingin ruang simpan sesuai kebutuhan. Jumlah air dan durasi pembasahan akan menentukan fluktuasi suhu yang ada di dalam ruang ZECC. Jumlah air dan durasi pembasahan pada kombinasi pasir dan zeolite yang menghasilkan suhu dan RH

terbaik yang diaplikasikan pada penyimpanan menggunakan metode ZECC.

2.2.3 Penelitian Utama

Penelitian utama dilakukan untuk mengukur suhu dan RH di dalam ZECC setelah diberi beban berupa tomat merah dan selada keriting. Terlebih dahulu sayuran disortasi sebelum disimpan di dalam ZECC. Sebelum sayuran dimasukkan, suhu di dalam ZECC diatur (menggunakan suhu yang dihasilkan pada penelitian pendahuluan) dengan dilakukan penyiraman air pada celah dinding yang berisi campuran pasir dan zeolite. Setelah suhu yang diinginkan tercapai, sayuran diletakkan pada masing-masing rak penyimpanan di dalam ZECC. Tomat dan selada yang disimpan masing-masing sebanyak 1kg dan penyimpanan dilakukan secara bersamaan di dalam ZECC dengan rak terpisah (tomat di rak atas dan selada di rak bawah). Kemudian dilakukan pengukuran suhu, RH di dalam ZECC dan lingkungan serta dilakukan pengamatan mutu sampel tomat dan selada hingga terjadi kerusakan selama dilakukan penyimpanan di dalam ZECC.

2.3 Parameter pengamatan

Parameter yang diukur pada penelitian pendahuluan adalah suhu dan RH dalam ruang penyimpan ZECC sebelum diberi beban (belum ada produk dalam ZECC). Parameter pada penelitian utama adalah suhu dan RH pada ZECC setelah diberi beban (ada tomat dan selada dalam ZECC), selain itu diukur perubahan mutu tomat dan selada sebanyak 3 kali ulangan yang meliputi kadar air, tekstur, warna, organoleptik dan total mikroba selama dalam penyimpanan di ZECC.

2.3.1 Pengukuran Suhu

Pengukuran suhu dilakukan di dua titik yaitu bagian dalam ZECC dan bagian luar (lingkungan) menggunakan termokopel. Termokopel diletakkan di masing-masing wadah yang berisi produk untuk mengukur suhu ruang penyimpan di sekitar produk dan dua buah termokopel di lingkungan luar ZECC. Perekaman data suhu dan RH dilakukan setiap hari dari pagi hingga malam, mulai jam 6.00 hingga jam 21.00 setiap 3 jam sekali.

2.3.2 Pengukuran RH (Relative Humidity)

Pengukuran RH dilakukan menggunakan data suhu bola basah dan bola kering dari termokopel. RH dihitung menggunakan *Psychometric Chart*.

2.3.3 Kadar air

Kadar air diukur menggunakan metode oven (AOAC 2000). Kadar air dihitung menggunakan rumus **Persamaan 1**.

$$Ka (\%) = \frac{B-C}{B-A} \times 100\% \quad (1)$$

Keterangan: Ka: Kadar air (%), A: Berat cawan (g), B: Berat cawan dan bahan sebelum dikeringkan (g), C: Berat cawan dan bahan setelah dikeringkan (g).

2.3.4 Susut bobot

Susut bobot dinyatakan sebagai pengurangan berat dan dinyatakan sebagai persentase penurunan berat contoh selama penyimpanan. Pengukuran berat dilakukan menggunakan timbangan digital, susut bobot dihitung menggunakan rumus **Persamaan 2** berikut:

$$\text{Susut bobot (\%)} = \frac{w_0 - w_t}{w_0} \times 100 \quad (2)$$

Keterangan: W_0 : Bobot awal penyimpanan (gram), W_t : Bobot akhir penyimpanan (gram).

2.3.5 Tekstur (kekerasan, kerenyahan)

Kekerasan diukur menggunakan *Rheometer* tipe CR-300. *Rheometer* diatur pada kecepatan penetrasi sebesar 60 mm/s, kedalaman penekanan 20 mm, dan diameter probe 5 mm. Pengujian dilakukan dengan meletakkan sampel pada landasan *rheometer* dan menusuk sampel menggunakan probe pada tiga titik meliputi pangkal, tengah, ujung batang selada dan buah tomat yang kemudian ditentukan nilai kekerasan rata-ratanya.

2.3.6 Warna

Perubahan warna diukur menggunakan alat *Chromameter* Minolta CR-400. Derajat warna pada *chromamater* disajikan nilai L^* , a^* dan b^* yang masing-masing mengindikasikan tingkat kecerahan, kehijauan dan kekuningan. Pengambilan data warna pada sampel tomat dan selada dilakukan pada tiga titik pada selada meliputi pangkal, tengah, atas dan dua titik pada tomat meliputi sisi depan dan belakang. Hasil pengukuran nilai a^* dan b^* dikonversikan ke dalam satuan kromatik °Hue (H) dengan a^* yaitu parameter warna merah hijau dan b^* parameter warna kuning biru.

2.3.7 Uji Organoleptik

Uji organoleptik menggunakan metode hedonik dan mutu fisik (Soekarto, 1985). Metode hedonik digunakan sebagai variabel untuk menilai sampel tomat dan selada dengan 6 skala yang meliputi sangat suka (6), suka (5), agak suka (4), agak tidak suka (3), tidak suka (2), dan sangat tidak suka (1). Sedangkan mutu fisik menggunakan 2 variabel meliputi mutu kesegaran dan mutu warna. Uji organoleptik dilakukan oleh 20 orang panelis semi terlatih dari kalangan mahasiswa Fakultas Teknologi Pertanian, Institut Pertanian Bogor. Sebelum panelis melakukan uji organoleptik, dilakukan terlebih dahulu penjelasan mengenai tata cara penilaian terhadap sampel dan pengisian kuisioner.

2.4 Rancangan Percobaan

Penelitian dilakukan dengan Rancangan Acak Lengkap dengan tiga kali ulangan perlakuan. Faktor yang digunakan adalah:

Z : Kombinasi pasir dan zeolite pada dinding ZECC

Kontrol : Suhu ruang (sampel diletakkan di dalam keranjang)

Z1 : Pasir 100%

Z2 : Pasir 75% zeolit 25%

Z3 : Pasir 50% Zeolit 50%

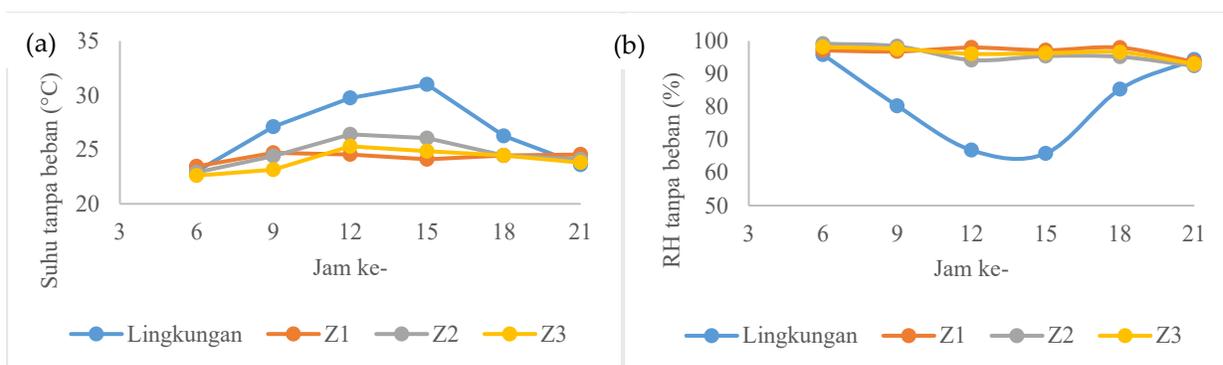
Uji Statistik diawali dengan analisis sidik ragam (ANOVA) untuk mengetahui perlakuan, serta dilanjutkan dengan uji Duncan Multiple Range Test (DMRT) dengan taraf nyata 5%. Data diolah menggunakan Minitab versi 18 versi free, tahun 2020.

3. Hasil Dan Pembahasan

Penelitian pendahuluan menghasilkan jumlah air yang digunakan untuk pembasahan adalah sebanyak 60 liter per hari. Suhu ruang ZECC tanpa beban yang dihasilkan pada kisaran 22.6 °C – 26.05 °C dengan RH 92.38% - 98.14%. Sedangkan suhu ruang ZECC dengan beban yang dihasilkan pada kisaran 23.78 °C – 24.85 °C dengan RH 94.03% - 98.53%.

3.1 Kondisi suhu dan RH di dalam ZECC Tanpa Beban

Pembentukan suhu RH di dalam ruang ZECC ditentukan oleh tingkat kebasahan dari bahan pengisi Z1, Z2 dan Z3. Pengukuran kondisi lingkungan di dalam ZECC tanpa beban adalah pengukuran yang dilakukan pada ZECC dalam keadaan kosong. Hasil pengukuran suhu dan RH di luar ZECC dan di dalam ke tiga ZECC (Z1, Z2 dan Z3) ditampilkan pada **Gambar 2**.



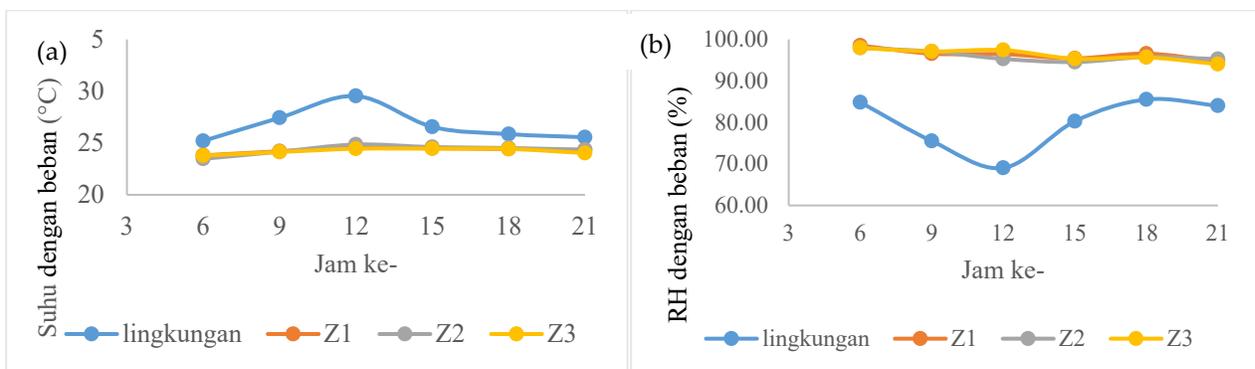
Gambar 2. Grafik Suhu (a) dan RH (b) diluar dan didalam ZECC ke tiga ZECC (Z1, Z2 dan Z3) tanpa beban.

Hasil analisis sidik ragam menunjukkan bahwa bangunan ZECC sebelum diberi beban dengan rasio penyusun dinding yang berbeda memberikan pengaruh nyata terhadap suhu dan RH di pagi, siang dan malam hari. Hasil uji lanjut suhu pagi hari berbeda nyata antara kontrol dengan Z1, Z2, dan Z3, sedangkan malam hari berbeda nyata antara kontrol dengan Z2 dan Z3. Demikian dengan RH pagi hari berbeda nyata antara kontrol, Z1 dengan Z2, Z3, siang hari berbeda nyata antara kontrol dengan Z1, Z2, Z3, dan malam hari berbeda nyata antara kontrol dengan Z1.

Terdapat perbedaan RH yang terjadi antara Z2 dan Z3 dengan Z1 pada pagi hari. Menurut Islam & Morimoto (2015) perbedaan ini dapat terjadi karena media evaporasi yang digunakan berfungsi dengan baik untuk mengurangi suhu juga mempertahankan kelembaban relatif yang lebih tinggi di dalam ruang penyimpanan. Penyiraman dinding ZECC berbasis pasir-zeolit dapat menurunkan suhu di dalam ZECC dari 23.5 °C menjadi 16.5 °C juga RH 18% lebih tinggi dari RH di luar ZECC. Karakteristik media evaporasi berbasis pasir-zeolit yang berpori lebih besar dibandingkan dengan media evaporasi berbasis pasir yang kurang berpori, dengan demikian pergerakan udara yang lebih besar di antara pasir-zeolit dan udara sekitar dapat menurunkan suhu di dalam ZECC.

3.2 Kondisi suhu dan RH di dalam ZECC Setelah diberi Beban

Hasil analisis sidik ragam menunjukkan bahwa bangunan ZECC setelah diberi beban dengan rasio penyusun dinding yang berbeda memberikan pengaruh nyata terhadap suhu dan RH di pagi, siang dan malam hari. Hasil uji lanjut, suhu dan RH kontrol berbeda nyata dengan Z1, Z2 dan Z3. Suhu dan RH antara Z1, Z2 dan Z3 tidak berbeda sehingga menghasilkan suhu dan RH yang relatif stabil di sepanjang hari penyimpanan, sementara di luar ZECC sangat fluktuatif pada jam 9 hingga jam 15. Hasil pengukuran suhu dan RH di luar ZECC dan di dalam ke tiga ZECC (Z1, Z2 dan Z3) ditampilkan pada **Gambar 3**.



Gambar 3. Grafik Suhu (a) dan RH (b) lingkungan di dalam ZECC setelah diberi beban.

Hal ini sesuai dengan pernyataan Islam & Morimoto (2015), dimana suhu di dalam ZECC lebih rendah dari suhu lingkungan dan RH yang tinggi dalam ZECC dari RH lingkungan sebagai hasil dari efek mekanisme pendinginan evaporatif. Menurut Sunarwo (2011) di dalam Hardanto & Yuniarto (2015), pendinginan evaporatif merupakan sistem pengkondisian udara menggunakan air untuk mendinginkan dan menambahkan uap air atau kelembaban pada aliran udara, sehingga suhu bola kering menjadi lebih dingin daripada sebelum mengalami proses penguapan. Suhu yang lebih rendah dengan kelembaban relatif yang tinggi di ruang pendingin berkontribusi pada peningkatan umur simpan buah dan sayuran, dimana pada hasil penelitian Mahajan et al., (2008) peningkatan

kelembaban tempat penyimpanan jamur dari 76% menjadi 96% menurunkan laju respirasi sebesar 87% pada suhu 4 °C, sementara penurunan suhu 16 °C menjadi 4 °C menurunkan laju respirasi sebesar 61% dengan kelembaban 96%.

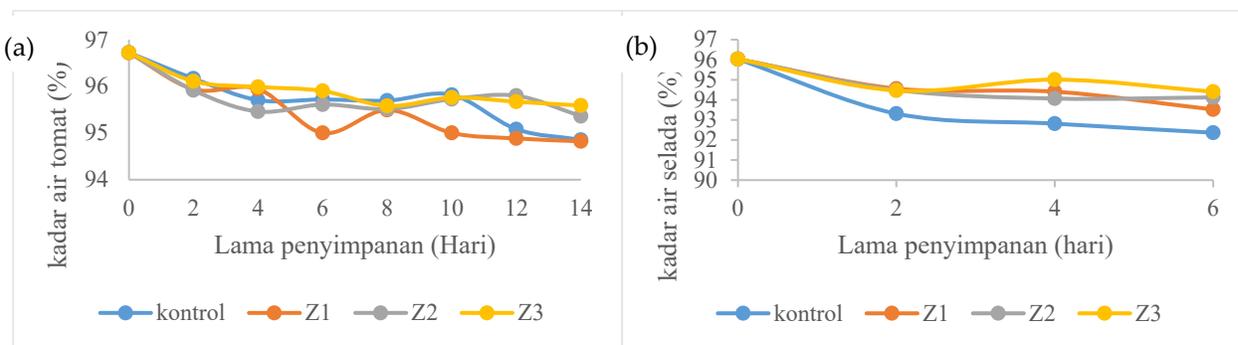
3.3 Perubahan Mutu Produk Selama Penyimpanan Di Dalam ZECC

Tomat yang disimpan di dalam ZECC mampu dipertahankan mutunya selama 14 hari dan selada selama 6 hari penyimpanan. Hal ini disebabkan karena adanya penurunan suhu serta peningkatan RH di dalam ZECC. Tomat dan selada yang disimpan pada Z2 dan Z3 memiliki kualitas secara fisik (kekerasan, warna, susut bobot, kadar air) yang lebih baik dibandingkan dengan yang disimpan pada Z1.

3.3.1 Perubahan mutu pada tomat dan selada

a. Kadar air tomat dan selada

Rata-rata kadar air tomat dan selada yang disimpan pada Z1, Z2, Z3 dan kontrol dari awal hingga hari terakhir penyimpanan terus mengalami penurunan. Hal tersebut terjadi karena kelembaban ruang penyimpanan yang rendah dapat menyebabkan terjadinya penyerapan air dari bahan yang disimpan, sehingga bahan menjadi kering atau mengalami penurunan kadar air (Salingkat, 2020). Hasil pengukuran kadar air tomat dan selada yang disimpan diluar dan didalam ketiga ZECC (Z1, Z2, dan Z3) ditampilkan pada **Gambar 4**.



Gambar 4. Kadar air buah tomat (a) dan selada (b) selama penyimpanan dalam ZECC.

Hasil analisis sidik ragam pada tomat dan selada dapat dilihat pada **Tabel 1** dan **Tabel 2**. Adanya perbedaan nyata pada kadar air tomat dan selada disebabkan oleh suhu yang terbentuk pada Z1 dan kontrol lebih tinggi dari pada suhu Z2 dan Z3. Suhu yang tinggi dan RH yang rendah akan meningkatkan laju kehilangan air pada produk. Penguapan air yang terkandung di dalam sel memerlukan panas yang dapat diperoleh dari lingkungan atau dari dalam produk sendiri akibat adanya aktifitas respirasi. Sayuran daun yang umumnya mempunyai nilai rasio permukaan dan volume besar memiliki peluang kehilangan air lebih besar dari pada produk dengan bentuk yang lebih kompak seperti buah-buahan (Ahmad, 2013).

Tabel 1. Uji lanjut duncan kadar air tomat pada penyimpanan dalam ZECC

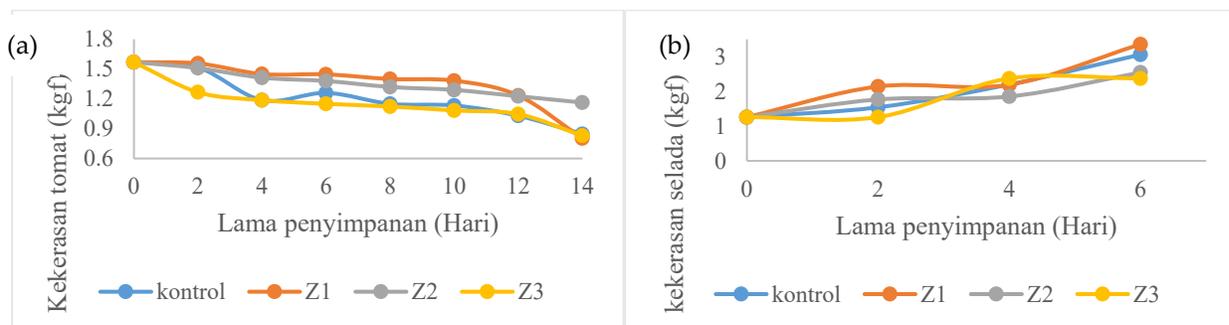
Perlakuan	Kadar Air Tomat (% bb)							
	Perlakuan hari ke-							
	0	2	4	6	8	10	12	14
kontrol	96.72 ^a	96.16 ^a	95.70 ^a	95.71 ^a	95.69 ^a	95.81 ^a	95.08 ^{bc}	94.85 ^b
Z1	96.72 ^a	95.93 ^a	95.94 ^a	95.00 ^b	95.49 ^a	95.00 ^b	94.88 ^c	95.82 ^b
Z2	96.72 ^a	95.91 ^a	95.45 ^a	95.61 ^a	95.51 ^a	95.72 ^a	95.79 ^a	95.58 ^a
Z3	96.72 ^a	96.10 ^a	95.98 ^a	95.90 ^a	95.58 ^a	95.75 ^a	95.67 ^{ab}	95.58 ^a

Tabel 2. Uji lanjut duncan kadar air selada pada penyimpanan dalam ZECC

Perlakuan	Kadar air selada (%bb)			
	Perlakuan hari ke-			
	0	2	4	6
Kontrol	94.93 ^a	93.31 ^b	92.81 ^b	92.36 ^b
Z1	95.58 ^a	94.56 ^a	94.40 ^a	93.51 ^a
Z2	95.07 ^a	94.49 ^a	94.06 ^{ab}	94.12 ^a
Z3	94.92 ^a	94.46 ^{ab}	95.00 ^a	94.40 ^a

b. Kekerasan Buah Tomat dan selada

Perubahan kekerasan merupakan salah satu aktivitas fisiologi yang disebabkan oleh kehilangan air pada produk hortikultura yang menjadikan komposisi dinding sel berubah sehingga menyebabkan tekanan turgor sel menurun (González-Aguilar, 2004). Hasil pengukuran kekerasan tomat dan selada yang disimpan diluar ZECC dan didalam ketiga ZECC (Z1, Z2, dan Z3) ditampilkan pada **Gambar 5**.



Gambar 5. Grafik perubahan kekerasan tomat (a) dan selada (b) selama penyimpanan dalam ZECC

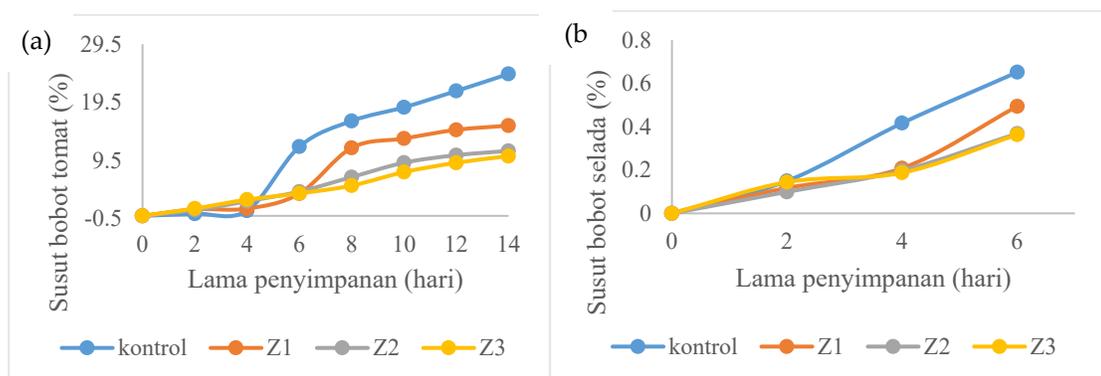
Hasil analisis sidik ragam menunjukkan bahwa perlakuan pada ZECC berpengaruh nyata terhadap kekerasan tomat antara Z1 dan Z2 dengan Z3 dan kontrol. Kekerasan produk pada Z3 dan kontrol pada hari ke-8 penyimpanan rendah, tetapi memiliki kadar air yang tinggi. Kekerasan buah

tomat erat kaitannya dengan kadar air yang terkandung, semakin tinggi kadar airnya maka kekerasan buah akan berkurang. Sebaliknya, apabila kadar airnya rendah maka buah tersebut akan menunjukkan kekerasan yang lebih tinggi. Menurut Wijayani & Widodo (2005), buah tomat dengan kadar air lebih dari 95% akan mudah mengalami kerusakan apabila disimpan, mudah pecah dan terasa lembek apabila dikonsumsi. Suhu penyimpanan juga menjadi salah satu faktor yang menyebabkan terjadinya perubahan kekerasan dari buah. Suhu penyimpanan yang tinggi dapat menyebabkan proses respirasi dan transpirasi berlangsung lebih cepat sehingga menyebabkan kandungan air dari buah lebih cepat mengalami penurunan yang mengakibatkan berkurangnya ketegaran buah. Proses hidrolisis protopektin dan pektin yang berperan dalam menjaga tingkat kekerasan buah berlangsung lebih cepat pada suhu yang tinggi. Hidrolisis pektin menjadi unit yang lebih sederhana dan bersifat larut dalam air akan menyebabkan perubahan dari tekstur.

Hasil analisis sidik ragam menunjukkan bahwa penyimpanan selada pada hari ke-2 berbeda nyata antara Z3 dengan Z1. Selada yang disimpan pada masing-masing ZECC mengalami peningkatan nilai kekerasan yang menunjukkan bahwa selada menjadi semakin liat karena layu, sehingga mengalami kerusakan hingga hari ke-6 penyimpanan. Kekerasan tertinggi selada terjadi pada Z1 seiring dengan penilaian panelis terhadap kesegaran selada yang agak tidak disukai. Peningkatan kekerasan selada terjadi karena adanya degradasi pektin yang dikatalis oleh enzim esterase membentuk asam poligalakturat bebas dan metanol serta enzim poligalakturonase (Rantung et al., 2020).

c. Susut Bobot Buah Tomat dan Selada

Susut bobot selama penyimpanan merupakan salah satu parameter mutu yang mencerminkan tingkat kesegaran produk. Penurunan bobot menunjukkan berat dari buah pada akhir penyimpanan yang dinyatakan dalam bentuk persentase penurunan bobot. Hasil pengukuran susut bobot tomat dan selada yang disimpan diluar ZECC dan di dalam ketiga ZECC (Z1, Z2, dan Z3) ditampilkan pada **Gambar 6**.

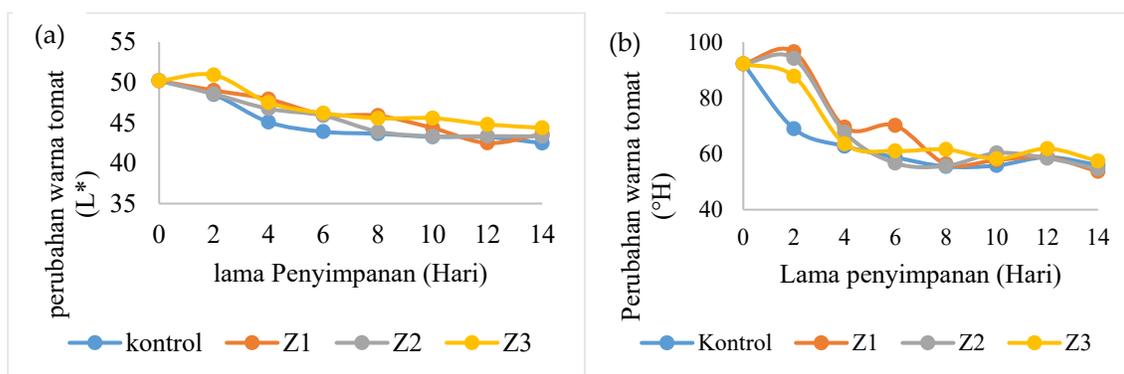


Gambar 6. Grafik persentase susut bobot buah tomat (a) dan selada (b) selama penyimpanan dalam ZECC

Hasil analisis sidik ragam menunjukkan bahwa penyimpanan pada ZECC tidak memberikan pengaruh nyata terhadap susut bobot tomat, sedangkan penyimpanan selada di hari ke-4 berbeda nyata antara kontrol dengan Z1, Z2 dan Z3. Peningkatan susut bobot tomat tertinggi terjadi pada kontrol dari 0.38% menjadi 24.37% dan peningkatan susut bobot tertinggi selada juga terjadi pada kontrol dari 0.14% menjadi 0.65%. Susut bobot tertinggi yang terjadi pada tomat dan selada yang disimpan di suhu ruang seiring dengan menurunnya kadar air. Menurut Sembiring (2009), susut bobot dapat terjadi akibat dari proses transpirasi, respirasi dan reaksi-reaksi lainnya yang disebabkan oleh suhu tinggi

d. Warna Buah Tomat dan Selada

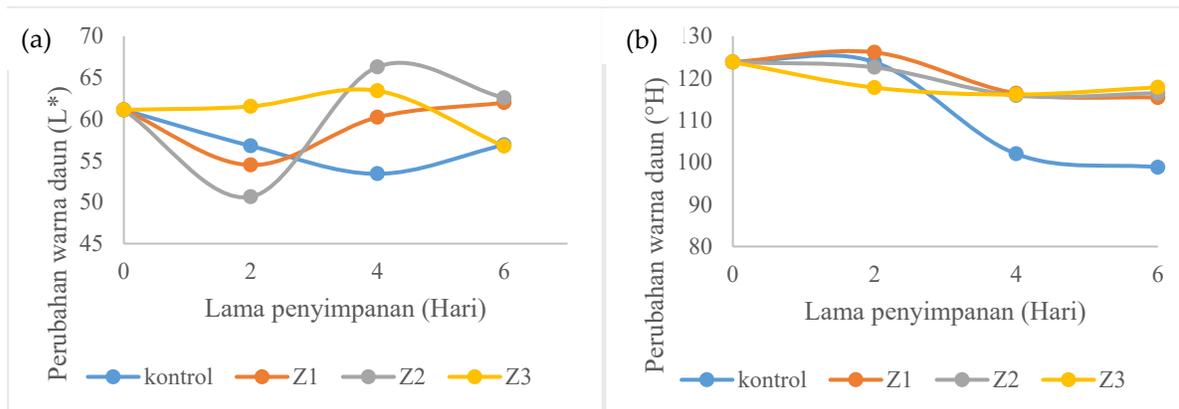
Nilai kecerahan pada buah tomat mengalami penurunan seiring dengan lamanya hari penyimpanan. Hasil pengukuran warna tomat yang disimpan diluar ZECC dan di dalam ketiga ZECC (Z1, Z2, dan Z3) ditampilkan pada **Gambar 7**.



Gambar 7. Perubahan nilai kecerahan (L*) (a) dan °hue (b) pada buah tomat selama penyimpanan dalam ZECC

Hasil analisis sidik ragam menunjukkan bahwa penyimpanan pada ZECC tidak memberikan pengaruh nyata terhadap warna buah tomat (L*), sedangkan nilai Hue pada hari ke-2 penyimpanan berbeda nyata antara kontrol dengan Z1 dan Z2, juga pada hari ke-6 penyimpanan berbeda nyata antara Z1 dengan Z2, Z3 dan kontrol. Nilai L dan Hue terus menurun seiring dengan lama penyimpanan. Menurut Fagundes *et al.* (2015) penurunan nilai L* dan Hue menunjukkan adanya proses pematangan yang menyebabkan peningkatan warna merah pada tomat selama penyimpanan. Perubahan warna tomat dari fase pink menjadi merah selama penyimpanan terjadi akibat sintesis pigmen karotenoid dan flavonoid.

Hasil pengukuran warna daun selada yang disimpan diluar ZECC dan didalam ketiga ZECC (Z1, Z2, dan Z3) ditampilkan pada **Gambar 8**.



Gambar 8. Perubahan nilai kecerahan (L) (a) dan °hue (b) pada selada selama penyimpanan dalam ZECC

Hasil uji lanjut warna selada (L*) menunjukkan pada penyimpanan di hari ke-2 perbedaan nyata antara Z1, Z2 dengan Z3, sedangkan nilai Hue pada hari ke-4 penyimpanan berbeda nyata antara Z2 dengan Z1 dan Z3. Pada warna selada yang agak tidak disukai oleh panelis karena mengalami perubahan warna daun menjadi kuning kecoklatan. Klorofil mengalami degradasi secara enzimatik membentuk pigmen warna kuning (karotenoid) dan coklat (feofitin) (Hakiki *et al.* 2016 dan Rantung *et al.* 2020).

e. Organoleptik tomat dan selada

Pengujian sensorik terhadap tomat dilakukan pada hari pertama dan terakhir penyimpanan. Tomat dapat dikatakan layak konsumsi jika masih tetap dapat mempertahankan mutu secara sensorik, kimia dan fisik. Hasil uji hedonik dan mutu fisik terhadap tomat hari ke-0 dan hari ke-14 dapat dilihat pada **Tabel 3**.

Tabel 3. Organoleptik buah tomat hari ke-0 dan ke-14

Parameter	Kontrol (H0)	Kontrol (H14)	Z1 (H0)	Z1 (H14)	Z2 (H0)	Z2 (H14)	Z3 (H0)	Z3 (H14)
Uji Hedonik								
Kesegaran	5.8	4.05	5.8	2.55	5.8	4.3	5.8	4.7
Warna	5.45	4.1	5.45	3.5	5.45	4.4	5.45	4.8
Uji Mutu Fisik								
Kesegaran	5.7	4.3	5.7	2.95	5.7	4.5	5.7	4.7
Warna	4.75	5.2	4.75	4.7	4.75	5.35	4.75	5.85

Hasil uji lanjut menunjukkan bahwa uji hedonik dan mutu fisik tidak berpengaruh nyata pada penyimpanan tomat di hari ke-0, tetapi berpengaruh nyata di hari ke-14 penyimpanan pada uji hedonik antara Z1 dengan Z2, Z3 dan kontrol, juga pada mutu fisik antara Z3 dengan Z1 dan kontrol.

sedangkan penerimaan konsumen terhadap buah tomat di hari ke-0 dinyatakan suka dan agak suka pada semua penyimpanan ZECC dan di hari ke-14 penyimpanan dinyatakan agak suka oleh panelis pada Z2, Z3 juga kontrol dan Z1 dinyatakan tidak disukai oleh panelis.

Hasil uji hedonik dan mutu fisik terhadap selada pada hari ke-0 dan hari ke-6 dilihat pada **Tabel 4**.

Tabel 4. Organoleptik selada hari ke-0 dan ke-6

Parameter	Kontrol (H0)	Kontrol (H6)	Z1 (H0)	Z1 (H6)	Z2 (H0)	Z2 (H6)	Z3 (H0)	Z3 (H6)
Uji Hedonik								
Kesegaran	5.75	2.9	5.75	1.0	5.75	3.2	5.75	3.55
Warna	5.75	3.1	5.75	1.2	5.75	3.25	5.75	3.5
Uji Mutu Fisik								
Kesegaran	5.65	2.95	5.65	1.1	5.65	3.35	5.65	3.35
Warna	5.5	4.2	5.5	2.95	5.5	4.4	5.5	4.45

Hasil uji lanjut menunjukkan bahwa uji hedonik dan mutu fisik tidak berpengaruh nyata pada penyimpanan selada hari ke-0, tetapi berpengaruh nyata di hari ke-6 penyimpanan antara Z1 dengan Z2, Z3 dan kontrol. Sedangkan penerimaan konsumen terhadap selada pada Z1, Z2, Z3 dan kontrol di hari ke-0 dinyatakan suka oleh panelis. Penyimpanan hari ke-6 pada Z2, Z3 dinyatakan agak tidak disukai dan Z1, kontrol dinyatakan sangat tidak disukai oleh panelis.

Uji hedonik tomat dan selada yang tidak disukai oleh panelis seiring dengan menurunnya warna dan kekerasan buah tomat hingga penyimpanan hari ke-14 dan selada hingga penyimpanan hari ke-6. Perubahan warna pada buah tomat juga disebabkan oleh adanya perombakan yang terjadi pada klorofil sehingga menyebabkan pigmen karatenoid menjadi lebih terlihat seperti munculnya warna kuning, jingga, ataupun merah (Winarno, 2002). Perubahan warna selada hingga hari terakhir penyimpanan menjadi kuning kecoklatan terjadi karena klorofil mengalami degradasi secara enzimatis membentuk pigmen warna kuning (karatenoid) dan coklat (feofitin). Penurunan kekerasan dapat disebabkan oleh adanya aktifitas respirasi dan transpirasi setelah pemanenan sehingga tekanan turgor semakin kecil dan menyebabkan buah menjadi lunak (Rantung et al., 2020).

4. Kesimpulan

ZECC dalam kondisi kosong (tanpa beban) atau dengan beban menghasilkan suhu dan RH yang tidak berbeda nyata dengan Z1, Z2 dan Z3 di pagi, siang dan malam hari. Suhu yang terbentuk di dalam ZECC setelah diberi beban berupa tomat dan selada lebih rendah dan stabil dibandingkan dengan suhu luar sepanjang penyimpanan. Rata-rata suhu ZECC di dalam dan di luar masing-masing adalah 23.47 °C dan 29.53 °C, sedangkan rata-rata RH ZECC di dalam dan di luar masing-masing

adalah 98.53% dan 69.04%. Suhu dan RH yang ada di ketiga ZECC (Z1, Z2, Z3) tidak berbeda nyata secara statistik, namun perubahan mutu yang paling sedikit, baik untuk tomat maupun selada air adalah Z3 (50% pasir+50 zeolit). Hasil uji organoleptik menunjukkan bahwa selada masih diterima oleh panelis sampai hari ke-6 dan tomat hari ke-14 penyimpanan. Dari penelitian ini dapat disimpulkan bahwa ZECC bisa diterapkan sebagai penyimpanan sementara produk pertanian segar, namun masih perlu penelitian lanjutan yang lebih detail, khususnya pada sisi rancangan ZECC-nya agar kinerjanya lebih maksimal lagi.

5. Daftar Pustaka

- Ahmad, U. (2013). *Teknologi penanganan pascapanen buahan dan sayuran*. Graha ILMU.
- AOAC. (2000). *Official methods of analysis of the association of official analytical*. Analysis of Association Analytical Chemistry.
- Dirpan, A. (2019). The quality of tomato (*lycopersicum esculentum* mill.) stored on zecc (zero energy cool chamber). *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 270(1). <https://doi.org/10.1088/1755-1315/270/1/012012>
- Dirpan, A., Nurfaidah Rahman, A., Tahir Sapsal, M., M. Tahir, M., & Dewitara, S. (2021). Color and organoleptic changes of the golek mango fruit (*mangifera indica* l.) on zero energy cool chamber (zecc) storage method with packaging combination. *Jurnal Agritechno*, 14(02), 66–75. <https://doi.org/10.20956/at.v14i2.474>
- Dirpan, A., Sapsal, M. T., Muhammad, A. K., Tahir, M. M., & Rahimuddin. (2017). Evaluation of temperature and relative humidity on two types of zero energy cool chamber (ZECC) in South Sulawesi, Indonesia. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 101(1), 1–8. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/101/1/012028>
- Djaafar, T., & Rahayu, S. (2007). *Cemaran Mikroba Pada Produk Pertanian, Penyakit Yang Ditimbulkan Dan Pencegahannya*. 26(28), 67–75.
- Fagundes, C., Moraes, K., Pérez-Gago, M. B., Palou, L., Maraschin, M., & Monteiro, A. R. (2015). Effect of active modified atmosphere and cold storage on the postharvest quality of cherry tomatoes. *Postharvest Biology and Technology*, 109, 73–81.
- González-Aguilar, G. A. (2004). *Pepper: In The Commercial Storage of Fruits, Vegetables, and Florist and Nursery Crops*. Agriculture Handbook.
- Hakiki, D., Darmawati, E., Purwanto, Y. A., Hideto, U., & Yotoma, Y. (2016). Changes in postharvest quality of organic spinach during storage after heatshock and hydrocooling treatment. *Jurnal Keteknik Pertanian*, 04(1), 53–58. <https://doi.org/10.19028/jtep.04.1.53-58>

- Hardanto, C., & Yuniarto, B. (2015). Uji Prestasi Pendinginan Evaporasi Kontak Tidak Langsung (Indirect Evaporative Cooling) Dengan Variasi Temperatur Media Pendingin Air. *Jurnal Teknik Mesin Undip*, 3(3), 239–244.
- Islam, M. P., & Morimoto, T. (2015). Evaluation of a new heat transfer and evaporative design for a zero energy storage structure. *Solar Energy*, 118, 469–484.
- Johansyah, A., Prihastanti, E., Kusdiyantini, E., Biologi, J., Sains, F., & Diponegoro, U. (2014). Pengaruh plastik pengemas low density polyethylene (ldpe), high density polyethylene (hdpe) dan polipropilen (pp) terhadap penundaan kematangan buah tomat (*lycopersicon esculentum*. mill). *Buletin Anatomi Dan Fisiologi*, XXII(1), 46–57.
- Mahajan, P. V., Oliveira, F. A. R., & Macedo, I. (2008). Effect of temperature and humidity on the transpiration rate of the whole mushrooms. *Journal of Food Engineering*, 84(2), 281–288. <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2007.05.021>
- Prasanna, V., Prabha, T. N., & Tharanathan, R. N. (2007). Fruit ripening phenomena-an overview. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 47(1), 1–19.
- Rantung, L. E., Wenur, F., Program, M., Teknik, S., Program, D., Teknik, S., Teknologi, J., Pertanian, P., Sam, U., & Manado, R. (2020). ANALISIS KUALITAS SELADA (*Lactuca sativa* L.) YANG DITANAM PADA DUA MEDIA SELAMA PENYIMPANAN DINGIN. *Jurnal Teknologi Pertanian*, Volume 11(juni), 1.
- Salingkat, D. (2020). View of Pengaruh Jenis Bahan Pengemas, Suhu dan Lama Penyimpanan terhadap Karakteristik Mutu Buah Tomat | Agroland: Jurnal Ilmu-ilmu Pertanian. *Jurnal Ilmu-Ilmu Pertanian*, 27(3), 274–286.
- Sembiring, N. (2009). *Pengaruh jenis bahan pengemas terhadap kualitas produk cabai merah (Capsicum annum L.) segar kemasan selama penyimpanan dingin*. Universitas Sumatera utara, Medan.
- SNI. (1992). Cara uji mikrobiologi (SNI19-2897-1992). In *Badan Standarisasi Nasional*. Badan standarisasi nasional.
- Soekarto. (1985). *Penilaian Organoleptik (Untuk Industri Pangan dan Hasil Pertanian)*. Bharata Karya Aksara.
- Wijayani, A., & Widodo, W. (2005). Increasing of tomatoes quality in hydroponic culture. *Ilmu Pertanian*, 12(1), 77–83.