

**PENGARUH PENDINGINAN TERHADAP SIFAT TERMAL TOMAT
(SOLANUM LYCOPERSICUM)**

**EFFECT OF COOLING ON THERMAL PROPERTIES OF TOMATO
(SOLANUM LYCOPERSICUM)**

Sutarsi Sutarsi¹, Iwan Taruna¹, Jihan Hanun¹

¹ Laboratorium Enjiniring Hasil Pertanian, Jurusan Teknik Pertanian
Fakultas Teknologi Pertanian Universitas Jember

*Corresponding author's email: sutarsi.ftp@unej.ac.id

ABSTRACT

Cooling is the process of removing heat from food products until the product temperature is between -1 to 8°C. The cooling process aims to inhibit the rate of respiration and microbial growth which is the main cause of spoilage. The decrease in temperature during cooling affects the thermal properties of the material. This study aims to determine the cooling behavior of tomatoes and to examine the effect of cooling on the thermal properties of tomatoes. Fresh tomatoes were stored at temperatures of 5 and 10°C and RH 55, 75 and 85%. The decrease in temperature causes a decrease in the value of thermal properties, thermal conductivity and thermal diffusivity of tomatoes.

Keywords: cooling effect, tomato, thermal properties

ABSTRAK

Pendinginan yaitu proses pengambilan panas dari produk pangan hingga suhu produk antara -1 sampai 8°C. Proses pendinginan bertujuan untuk menghambat laju respirasi buah dan pertumbuhan mikroba yang menjadi penyebab utama pembusukan buah. Penurunan suhu selama pendinginan mempengaruhi sifat termal dari bahan. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui perilaku pendinginan buah tomat dan mengkaji pengaruh pendinginan terhadap sifat termal buah tomat. Buah tomat segar disimpan pada kondisi suhu 5 dan 10°C serta RH 55, 75 dan 85%. Penurunan suhu menyebabkan penurunan nilai sifat termal, konduktifitas termal dan difusivitas termal buah tomat.

Keywords: pendinginan, tomat, sifat termal

PENDAHULUAN

Tomat banyak ditanam dan dikonsumsi di dunia baik bentuk segar maupun olahan berupa tomat kaleng, saus, jus dan sup [1]. Tomat memiliki kadar air 90% yang membuat tomat mudah mengalami kerusakan. Separuh padatnya terdiri dari gula yaitu fruktosa dan glukosa. Tomat mengandung senyawa antioksidan yang bermanfaat untuk tubuh manusia seperti karotenoid, asam askorbat dan senyawa fenolik. Sayuran ini merupakan sumber utama likopen yang memiliki aktifitas antioksidan tinggi. Likopen mencapai 80% dari total karotenoid pada tomat matang [3]- [4].

Tomat merupakan buah klimaterik dan pemasakan pascapanen disertai dengan peningkatan laju respirasi dan produksi gas etilen. Hal ini mempercepat penyimpangan mutu, perubahan warna dan pelunakan jaringan karena perubahan fisika kimia [5]. Kekerasan merupakan indikator

kualitas tomat dan mempengaruhi pemasarannya [6]. Kekerasan tomat menurun selama penyimpanan. Pelunakan buah tomat dikarenakan kerusakan dinding sel dan peningkatan kandungan protein terlarut yang melemahkan dinding sel dan penurunan gaya kohesif yang mengikat sel [7].

Proses pendinginan yaitu proses pengambilan panas dari produk pangan hingga suhu produk antara -1 sampai 80°C [8]. Pendinginan ditujukan untuk menghambat laju respirasi buah dan pertumbuhan mikroba yang menjadi penyebab utama pembusukan buah. Pengaturan kondisi ruang pendingin penting dalam proses pendinginan, diantaranya pengaturan kelembaban ruang. Kelembaban yang terlalu tinggi dapat membuat buah lebih cepat busuk, namun jika terlalu kering dapat membuat buah menjadi layu. Kelembaban relatif yang baik untuk menyimpan buah pada $85-90\%$, untuk sayuran berdaun dan umbi-umbian sekitar $90-95\%$, dan bahan pangan nabati yang lain memerlukan kelembaban sekitar $85-90\%$ [9].

Sifat termal merupakan faktor yang berpengaruh dalam pendinginan. Sifat termal diperlukan agar dapat dilakukan perancangan sistem pendinginan yang diinginkan dan lama waktu pendinginan. Sifat termal yang berpengaruh selama proses pendinginan antara lain, panas spesifik (C_p), konduktivitas termal (K), dan difusivitas termal (D). Sifat termal dipengaruhi banyak faktor, salah satunya adalah suhu [10]- [12]. Penelitian ini ditujukan mempelajari perilaku pendinginan buah tomat, mengukur sifat termal buah tomat (panas jenis, konduktivitas panas dan difusivitas panas dan menganalisa pengaruh pendinginan terhadap sifat termal buah tomat.

METODE PENELITIAN

Bahan dan Alat Penelitian

Bahan yang digunakan adalah tomat buah (*Solanum lycopersicum*) yang diperoleh dari pedagang pasar Tanjung di Jember, zat garam (NaCl dan Pottasium karbonat), dan akuades. Peralatan yang digunakan antara lain unit Climacell, thermal propertie analyzer KD2 Pro, sensor suhu, thermocouple data logger, software picolog reader, timbangan digital dengan ketelitian ± 0.001 g, jangka sorong digital, selotip, gunting, dan laptop.

Rancangan Percobaan

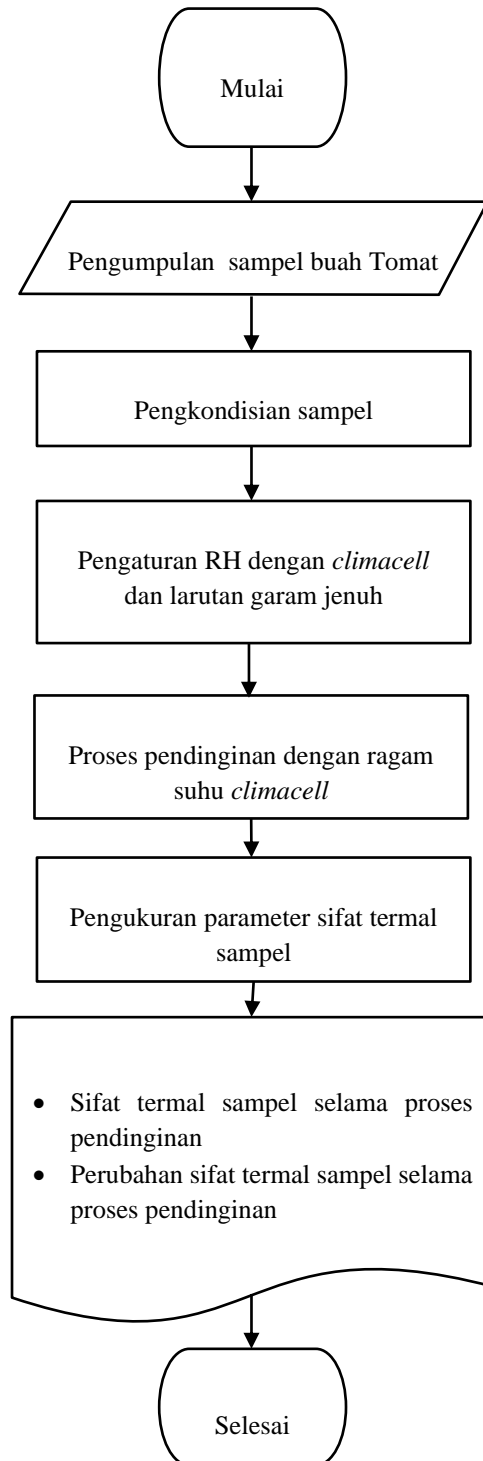
Percobaan menggunakan metode eksperimen, rancangan acak lengkap (Completely Randomize Design) dengan dua faktor perlakuan yaitu suhu dan RH. Pada setiap kombinasi perlakuan akan dilakukan pengulangan sebanyak 3 kali. Variabel rancangan percobaan dapat dilihat pada Tabel 1.

Tabel 1. Variabel Rancangan Percobaan Penelitian Sifat Termal Buah Tomat

No.	Variabel Percobaan	Perlakuan	Kode	Variabel Pengukuran
1	Suhu	5°C	T1	Panas spesifik Konduktivitas termal Difusivitas termal
		10°C	T2	
		55%	H1	
2	RH	75%	H2	
		85%	H3	

Diagram Alir Penelitian

Penelitian dilakukan mulai dari penyeragaman sampel buah tomat kemudian didinginkan dan pengukuran sifat termal buah tomat. Diagram alir penelitian dapat dilihat pada Gambar 1.



Pengukuran Sifat Termal Buah Tomat Selama Pendinginan

Sifat termal diukur menggunakan *thermal analyzer* KD2 Pro. Pengukuran dimulai dengan pemasangan sensor SH 01 pada sampel dan dilanjutkan dengan pencatatan data.

Analisis Data

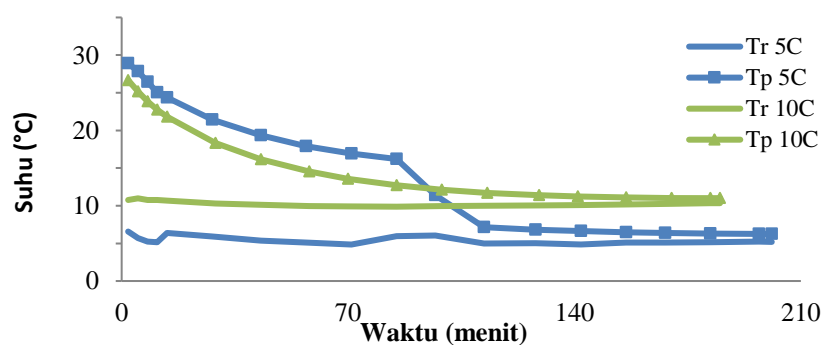
Data yang diperoleh dianalisis menggunakan software *Microsoft Excel 2010* dengan cara merata-rata dari 3 kali percobaan, kemudian membuat grafik hubungan suhu tomat dengan waktu pendinginan dan grafik sifat termal dengan suhu tomat.

HASIL DAN PEMBAHASAN

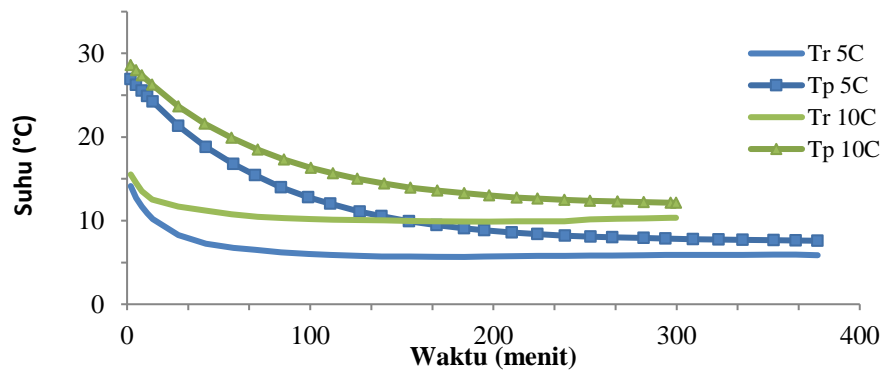
4.1 Pendinginan Buah Tomat

Proses pendinginan dilakukan dengan menggunakan unit climatic chamber climacell. Mesin climatic chamber climacell merupakan mesin inkubator yang memiliki kontrol mikroprosesor untuk melakukan perubahan suhu sampel dari 0 sampai 99°C dan kelembaban (RH) dari 10% sampai 95%. Proses ini memiliki konsep melepas panas dari produk karena terjadi pindah panas dari suhu tinggi ke suhu rendah. Pengamatan penurunan suhu dilakukan dengan menggunakan sensor suhu, thermocouple data logger, dan program picolog reader. Sensor dimasukkan ke dalam buah tomat tepat di bagian tengah dan bagian yang lain disambungkan dengan thermocouple data logger. Data perubahan suhu yang diukur dengan thermocouple dapat diamati pada laptop dengan bantuan software picolog reader. Proses pendinginan dilakukan sampai suhu sampel konstan mendekati suhu ruang pendingin.

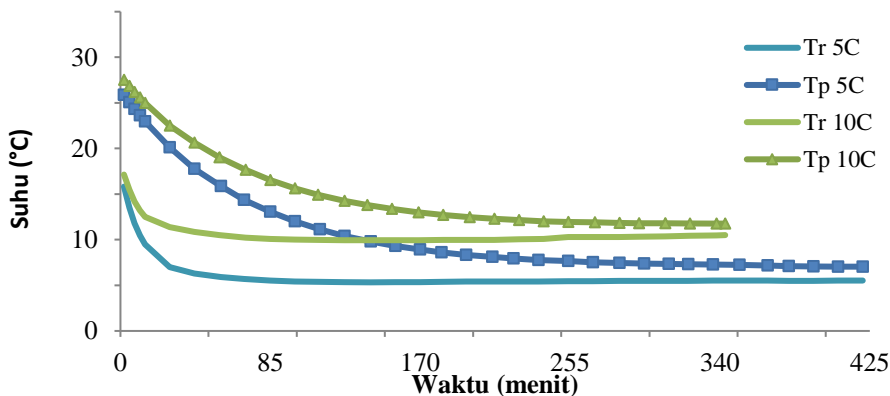
Penggunaan larutan garam jenuh agar diperoleh kondisi RH ruang yang dapat dikontrol. Garam merupakan zat terlarut yang sukar menguap, sehingga ketika garam dilarutkan dengan pelarut air, maka pelarut air yang menguap. Hal ini dikarenakan garam memiliki titik didih yang lebih besar dibandingkan air. Garam menghalangi penguapan partikel pelarut air. Hal ini menyebabkan RH larutan garam jenuh lebih rendah dibandingkan pelarut air. RH larutan garam jenuh yang dihasilkan berbeda-beda bergantung pada zat garam terlarutnya. Hasil pendinginan buah tomat menggunakan climacell dapat dilihat pada Gambar 4.1, 4.2, dan 4.3.



Gambar 4.1 Perubahan Panas Spesifik Buah Tomat Terhadap Suhu Buah Tomat pada RH Ruang Pendingin 85%



Gambar 4.1 Proses Pendinginan Buah Tomat pada RH Ruang Pendingin 75%



Gambar 4.2 Proses Pendinginan Buah Tomat pada RH Ruang Pendingin 85%

Tr = Suhu ruang climacell
Tp = suhu buah tomat

Gambar 4.1 - 4.3 menampilkan penurunan suhu tomat dari suhu awal rata-rata sebesar 28°C menjadi suhu konstan, yaitu suhu buah tomat yang mendekati sama dengan suhu ruang pendingin yaitu 5 dan 10°C. Penurunan suhu buah tomat menunjukkan adanya pindah panas dari buah tomat dengan ruang climacell, karena panas mengalir dari suhu tinggi ke suhu rendah. Suhu tomat mengalami penurunan yang besar pada awal pendinginan yang dikarenakan gradien suhu antara produk dan climacell besar, sehingga panas yang dikeluarkan juga besar. Hal ini sesuai dengan hukum Fourier.

Gambar 4.1 - 4.3 menampilkan bahwa lama proses pendinginan dipengaruhi oleh suhu proses dan RH ruang. Semakin rendah suhu proses mengakibatkan proses pendinginan semakin lama. Suhu proses 5°C membutuhkan waktu yang lebih lama dibandingkan suhu proses 10°C. Semakin tinggi RH ruang pendingin, maka waktu pendinginan semakin lama. Menurut Dincer perbedaan suhu yang besar antara unit coil evaporator pendingin dan produk akan meningkatkan kehilangan kelembaban produk (terjadi pelayuan). Kehilangan air karena peningkatan nilai defisit tekanan uap air (VPD) akibat RH ruang pendingin yang rendah menjadi salah satu faktor penyebab porositas meningkat, sehingga waktu pendinginan semakin pendek. Jika porositas naik dari 2 ke 4%, total waktu pendinginan berkurang 35% menjadi 21 menit dari waktu 57 menit dengan porositas 1% [13].

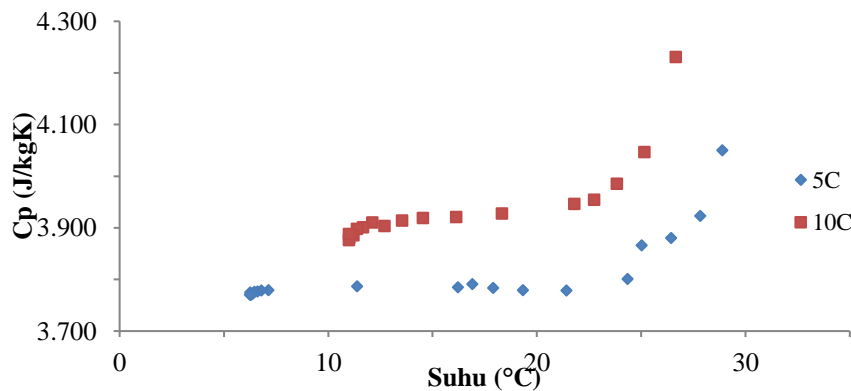
4.2 Sifat Termal Selama Proses Pendinginan

Pengukuran sifat termal buah tomat menggunakan alat Thermal Properties Analyzer KD2 Pro dengan sensor dua jarum tipe SH-01. Sensor ini untuk mengukur panas spesifik (C_p), konduktivitas termal (K), Difusivitas termal (D), dan resistensivitas.

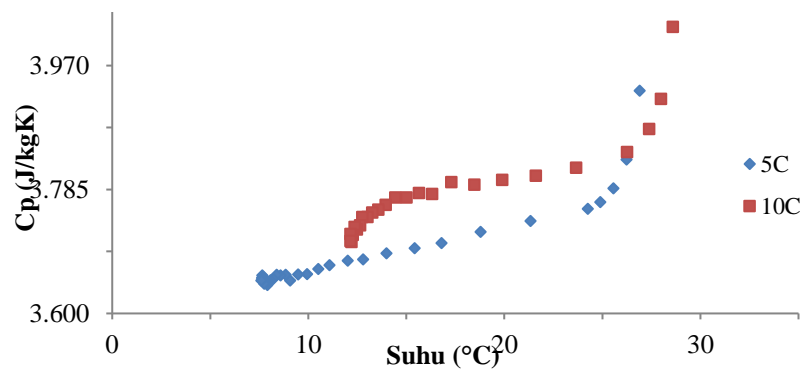
Panas Spesifik

Panas spesifik merupakan sejumlah energi panas untuk mengubah suhu buah tomat sebesar 1°C yang dapat mendeskripsikan neraca kesetimbangan energi dan efisiensi dari proses yang sedang berlangsung.

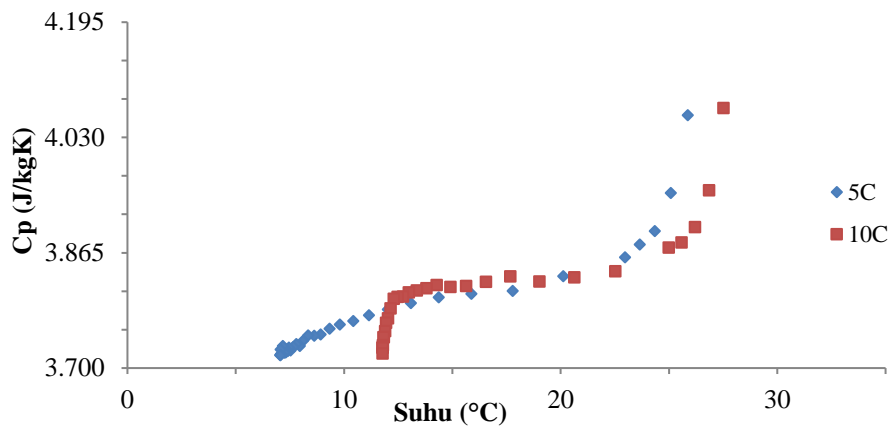
Suhu buah tomat yang semakin menurun mengakibatkan nilai panas spesifik buah tomat cenderung menurun. Hal ini dapat dilihat pada grafik hubungan nilai panas spesifik terhadap suhu buah tomat berikut.



Gambar 4.4 Perubahan Panas Spesifik Buah Tomat Terhadap Suhu Buah Tomat pada RH Ruang Pendingin 55%



Gambar 4.5 Perubahan Panas Spesifik Buah Tomat Terhadap Suhu Buah Tomat pada RH Ruang Pendingin 75%



Gambar 4.6 Perubahan Panas Spesifik Buah Tomat Terhadap Suhu Buah Tomat pada RH Ruang Pendingin 85%

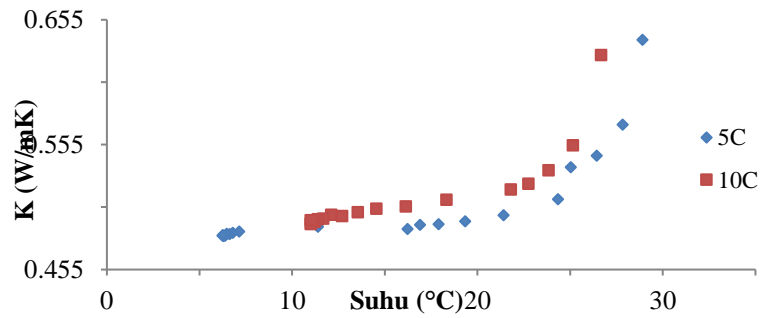
Gambar 4.4 – 4.6 menunjukkan bahwa nilai panas spesifik buah tomat cenderung mengalami kenaikan dengan suhu buah tomat yang tinggi. Perubahan ini terjadi karena dipengaruhi oleh kandungan air yang ada pada buah tomat. Air memiliki panas spesifik yang tinggi jika dibandingkan dengan komponen makanan lainnya, sehingga sejumlah kecil air akan mempengaruhi panas spesifik secara substansial [14]. Material yang memiliki kadar air tinggi, seperti buah dan sayuran sangat tergantung pada fraksi pengkristalan dan pencairan air sebagai es selama proses berlangsung [15]. Penurunan kandungan air buah tomat selama proses pendinginan dikarenakan terjadinya proses dehidrasi pada permukaan buah tomat selama proses berlangsung. Hal ini disebabkan gradien tekanan uap air (vapor pressure deficit / VPD) yang besar antara buah tomat dan udara ruang pendingin. Kelembaban ruang pendingin lebih rendah dibandingkan kelembaban internal buah tomat, sehingga menyebabkan terjadinya perpindahan uap air dari RH tinggi ke RH rendah. Kehilangan kandungan air disebabkan terjadinya dehidrasi karena perbedaan temperatur antara produk dan atmosfer di sekitarnya yang disebabkan perbedaan tekanan uap air nya [16]. Produk dengan panas spesifik 4 kJ/kg°C akan kehilangan sejumlah air yang sama dengan 1% beratnya setiap penurunan suhu 6°C [17].

Berdasarkan penjelasan di atas, penurunan nilai panas spesifik buah tomat selama proses pendinginan berbanding lurus terhadap penurunan kadar airnya. Hal ini diartikan bahwa semakin kecil nilai panas spesifik buah tomat, maka kandungan airnya semakin berkurang juga, begitupun sebaliknya.

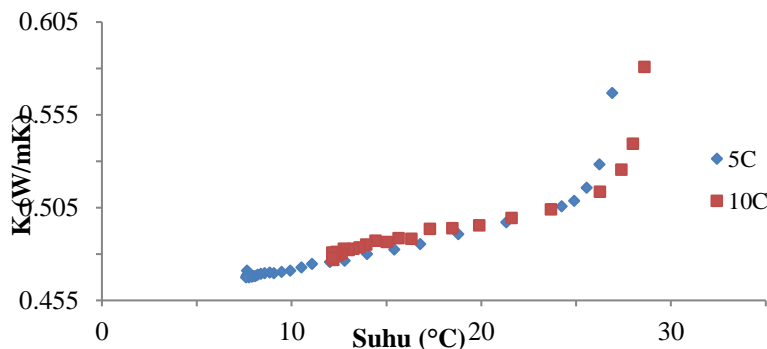
Konduktivitas Termal

Konduktivitas termal merupakan sejumlah panas yang dihantarkan secara konduksi yang melalui ketebalan buah tomat tiap unit waktu dan gradien suhu. Konduktivitas termal juga dipengaruhi oleh suhu yang menyebabkan perubahan nilai konduktivitas termal buah tomat dari awal sampai akhir proses pendinginan.

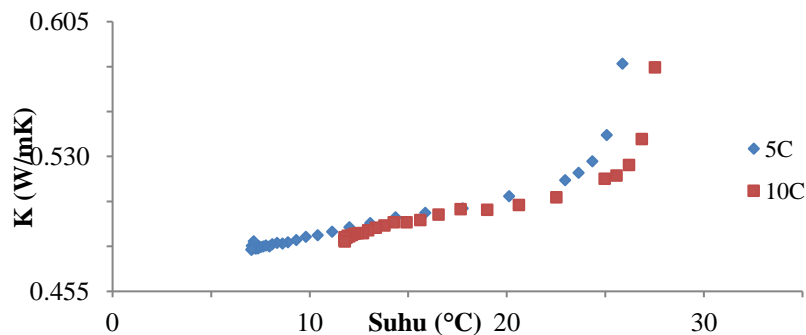
Penurunan suhu buah tomat dapat mengubah nilai konduktivitas termalnya. Perubahan nilai konduktivitas termal buah tomat terhadap penurunan suhunya yang terjadi selama proses pendinginan ditunjukkan pada grafik berikut.



Gambar 4.7 Perubahan Konduktivitas Termal Buah Tomat Terhadap Suhu Buah Tomat pada RH Ruang Pendingin 55%



Gambar 4.8 Perubahan Konduktivitas Termal Buah Tomat Terhadap Suhu Buah Tomat pada RH Ruang Pendingin 75%



Gambar 4.9 Perubahan Konduktivitas Termal Buah Tomat Terhadap Suhu Buah Tomat pada RH Ruang Pendingin 85%

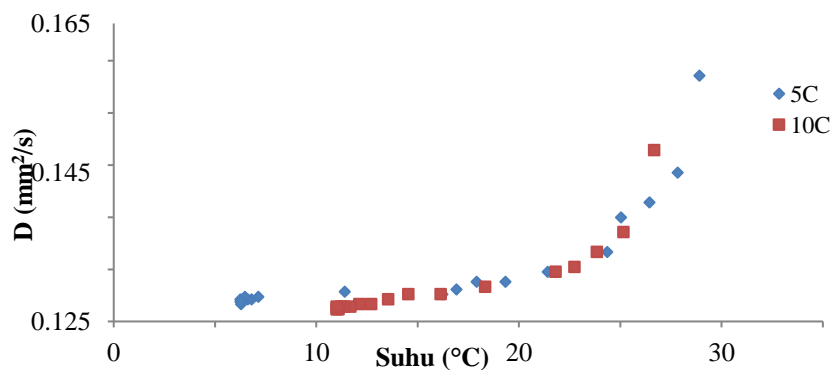
Grafik 4.7 – 4.9 menampilkan nilai konduktivitas termal buah tomat selama proses pendinginan cenderung mengalami penurunan seiring dengan suhu buah tomat yang juga mengalami penurunan. Nilai konduktivitas termal sebanding dengan penurunan suhu buah tomat. Semakin turun suhu buah tomat maka nilai konduktivitas termal semakin rendah. Hal ini sama dengan penelitian yang dilakukan oleh [18] tentang konduktivitas dan difusivitas termal buah pepaya yang telah matang dengan total padatan terlarut (10 – 12°Brix) dan berat (3,5 – 4 kg) yang diperoleh dari pasar lokal, Brazil sebagai fungsi temperatur dengan menggunakan teknik probe dan kisaran suhu 20 - 40°C. Hasil yang diperoleh dari penelitian ini yaitu nilai konduktivitas dan difusivitas termal memiliki hubungan yang sebanding terhadap suhu.

Berdasarkan Gambar 4.7– 4.9 dapat dikatakan bahwa semakin rendah suhu maka semakin kecil nilai konduktivitas termal buah tomat. Hal ini disebabkan pada suhu rendah terjadi pengurangan air dari buah tomat, sehingga menyebabkan peningkatan porositas buah Tomat. Porositas berpengaruh terhadap nilai konduktivitas termal. Peningkatan kadar air sampai 20% akan meningkatkan nilai konduktivitas termal, sedangkan peningkatan porositas buah tomat akan menyebabkan penurunan konduktivitas termal lebih cepat [19]. Porositas buah tomat yang meningkat menunjukkan bahwa volume kosong yang berisi udara meningkat. Makanan berpori sangat dipengaruhi oleh adanya udara dalam makanan tersebut, sementara udara memiliki nilai konduktivitas termal yang lebih kecil dibandingkan dengan nilai konduktivitas termal air murni [20]. Hal ini sama dengan penelitian yang dilakukan oleh [21] tentang pengaruh kadar air dan densitas terhadap konduktivitas termal buah ara yang berasal dari Rayalaseema, India dengan menggunakan metode sumber panas garis transien. Penelitian ini dilakukan dengan melakukan pengamatan temperatur dengan termocouple dan dicatat pada interval waktu 30 detik sampai 20 menit dengan rentang kadar air antara 30 – 70%. Penelitian ini menghasilkan bahwa nilai konduktivitas termal pada kadar air 70% sebesar 0,2543 – 0,5678 W/mK, pada kadar air 50% sebesar 0,2042 – 0,490 W/mK, dan kadar air 30% sebesar 0,1239 – 0,4352 W/mK. Penelitian ini menyimpulkan bahwa konduktivitas termal dipengaruhi oleh suhu, kadar air, densitas, dan struktur fisik buah.

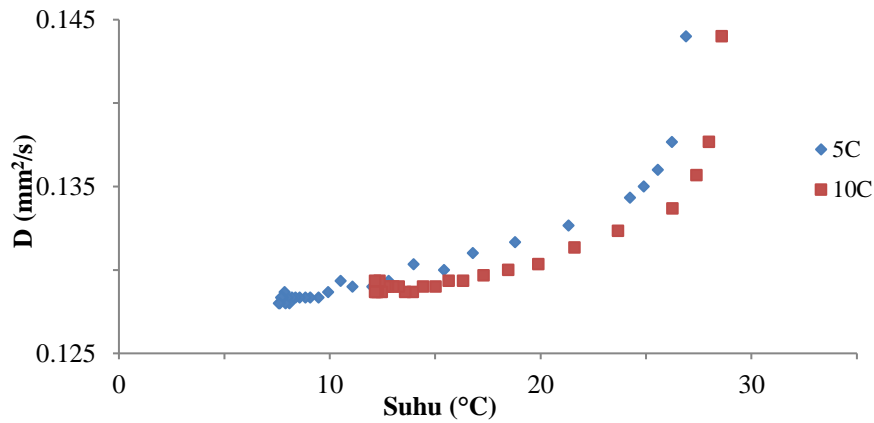
Difusivitas Termal

Difusivitas termal selama proses pendinginan dipengaruhi oleh lama waktu pendinginan dengan suhu yang semakin lama semakin menurun. Difusivitas termal dapat dijadikan acuan laju proses untuk mengetahui jumlah energi yang keluar dan suhu yang diperlukan agar tidak merusak kualitas buah tomat.

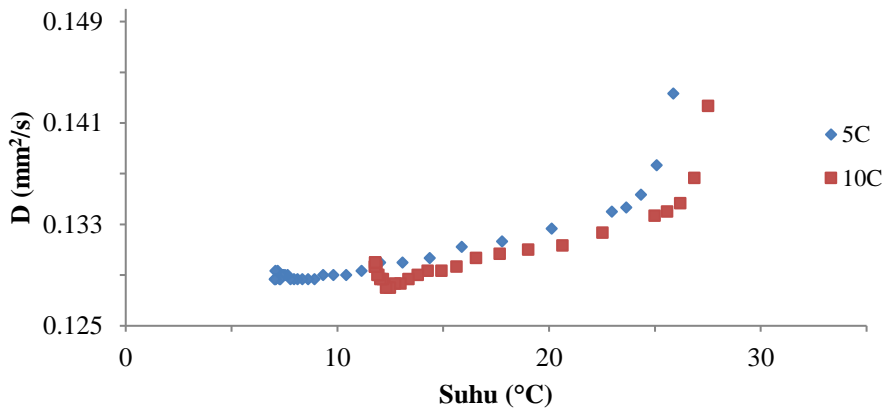
Penurunan nilai difusivitas termal buah tomat selama proses pendinginan juga dihubungkan dengan suhu buah tomat yang semakin lama semakin menurun. Hal ini disajikan pada grafik berikut.



Gambar 4.3 Perubahan Difusivitas Buah Tomat Terhadap Suhu Buah Tomat pada RH Ruang Pendingin 55%



Gambar 4.114 Perubahan Difusivitas Buah Tomat Terhadap Suhu Buah Tomat pada RH Ruang Pendingin 75%



Gambar 4.12 Perubahan Difusivitas Buah Tomat Terhadap Suhu Buah Tomat pada RH Ruang Pendingin 85%

Grafik 4.9 – 4.12 menunjukkan bahwa nilai difusivitas termal cenderung naik diikuti dengan suhu buah tomat yang juga naik. Hal ini sama dengan penelitian yang dilakukan oleh [22] yang meneliti pengaruh suhu dan varietas terhadap sifat termal apel segar yang diperoleh dari pasar lokal di Polandia dengan pengamatan pada kisaran temperatur 0-60°C. Hasil yang diperoleh dari penelitian tersebut bahwa nilai difusivitas termal, panas spesifik dan konduktivitas termal buah apel dipengaruhi oleh suhu dengan tingkat signifikan sebesar 0,01.

Penurunan nilai difusivitas termal disebabkan karena nilai konduktivitas menurun. Nilai difusivitas termal berbanding lurus dengan nilai konduktivitas termalnya. Semakin besar nilai konduktivitas termal, maka nilai difusivitas termalnya juga semakin besar, dan sebaliknya. Menurut [23] difusivitas termal meningkat secara linier terhadap peningkatan kadar air karena dipengaruhi peningkatan konduktivitas termal pada kadar air lebih dari 30%. Nilai difusivitas termal yang tinggi diartikan bahwa transfer panas pada produk cepat dan sedikit waktu yang dibutuhkan untuk mengeluarkan panas dari produk.

KESIMPULAN

Selama pendinginan terjadi perpindahan panas dari tomat ke lingkungan, perpindahan panas tersebut menjadikan suhu tomat menjadi lebih rendah dari semula. Perpindahan panas dikarenakan adanya beda suhu tomat dan suhu lingkungan. Panas jenis, konduktifitas panas dan difusivitas panas berbanding lurus dengan suhu tomat.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Ninčević Grassino, A., Djaković, S., Bosiljkov, T., Halambek, J., Zorić, Z., Dragović Uzelac, V., Petrović, M. & Rimac Brnčić, S. (2020). Valorisation of tomato peel waste as a sustainable source for pectin, polyphenols and fatty acids recovery using sequential extraction. *Waste and Biomass Valorization*, 11(9), 4593–4611. <https://doi.org/10.1007/s12649-019-00814-7>.
- [2] 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. <https://doi.org/10.1016/j.postharvbio.2015.05.017>.
- [3] Kaur, P., & Bhatia, S. (2016). Effect of packaging material on physiological and biochemical characterization of tomatoes during post-harvest storage under ambient 31 conditions. *Indian Journal of Agricultural Biochemistry*, 29(2), 161–168. <https://doi.org/10.5958/0974-4479.2016.00026.5>
- [4] Kaur, P., & Bhatia, S. (2016). Effect of packaging material on physiological and biochemical characterization of tomatoes during post-harvest storage under ambient 31 conditions. *Indian Journal of Agricultural Biochemistry*, 29(2), 161–168. <https://doi.org/10.5958/0974-4479.2016.00026.5>
- [5] Akbudak, B., Akbudak, N., Seniz, V., & Eris, A. (2007). Sequential treatments of hot water and modified atmosphere packaging in cherry tomatoes. *Journal of Food Quality*, 30, 896–910. <https://doi.org/10.1111/j.1745-4557.2007.00168.x>
- [6] Aneesh, M., Kudachikar, V. B., & Ravi, R. (2008). Effect of gamma-irradiation on instrumental colour and textural characteristics of tomato stored under modified atmosphere packaging. *Journal of Food Science and Technology*, 45(6), 543–545.
- [7] Majidi, H., Minaei, S., Almassi, M., & Mostofi, Y. (2014). Tomato quality in controlled atmosphere storage, modified atmosphere packaging and cold storage. *Journal of Food Science and Technology*, 51(9), 2155–2161. <https://doi.org/10.1007/s13197-012-0721-0>
- [8] Estiasih, T. dan Ahmadi, K. 2009. *Teknologi Pengolahan Pangan*. Jakarta : Bumi Aksara.
- [9] Desrosier, N.W. *Teknologi Pengawetan Pangan*. Terjemahan oleh M. Muljohardjo. 1988. Jakarta : UI Press.
- [10] Ekpunobi, Ukatu, Ngene, Onyema, dan Ofora. 2014. Investigation Of The Thermal Properties Of Selected Fruits And Vegetables. *American Journal Of Science And Technology*. ISSN 293-297. Vol.1 (5): 293 - 297 [Serial Online]. <http://article.aascit.Org/file/pdf/9020826.pdf>
- [11] Laohasongkram, Chaiwanichsiri, Thunpithayakul, dan Ruedeesarnt. 1995. Thermal Properties Of Mangoes. *Journal Science Society Of Thailand*. Vol.21:63-74 [Serial Online]. http://www.scienceasia.org/1995.21.n2/v21_063074.pdf.
- [12] Lisowa, H. Wujec, M. dan Lis, T. 2002. Influence Of Temperature And Variety On The Thermal Properties Of Apples. *Journal Online International Agrophysic*. http://www.old.international-agrophysics.org/artikuly/international_agrophysics/IntAgr_2002_16_1_43.pdf

- [13] Wang, L. dan Sun, D.W. 2010. "Mathematical Analysis Of Vacuum Cooling".. *Mathematical Modeling Of Food Processing*. Boca Raton : CRC Press
- [14] Delgado, A.E. Sun, D.W. dan Rubiolo, A.C. 2012. "Thermal Physical Properties Of Foods". Dalam Sun, D.W (Ed.). *Thermal Food Processing : New Technologies and Quality Issues*. New York : CRC Press.
- [15] Sereno, A.M. 2000. "Thermal Properties And State Diagram Of Fruits And Vegetables By DSC". Dalam Lozano, Anon, Arias, Canovas (Eds.). *Trends In Food Engineering*. Lancaster : Technomic Publishing Company, Inc.
- [16] Blond, G. dan Mestle, M.L. 2004. "Principles Of Frozen Storage". Dalam Hui, Cornillon, Legarretta, Lim, Murrel, Nip. (Eds.). *Handbook Of Frozen Foods*. New York : Marcel Dekker, Inc.
- [17] Amirante,P. dan Di Renzo, G.C. 1989. " The Influence Of The Physical And Mechanical Characteristics Of Produce On The Design Of Vacuum Pre-Coolers". Dalam Dodd, V.A. dan Grace, P.M. (Eds.). *Agricultural Engineering Volume 4: Power, Processing, And System*. Rotterdam : A.A.Balkema.
- [18] Kurozawa, El-Aouar, Simoes, Azoubel, dan Murr. 2005. Determination Of Thermal Conductivity And Thermal Diffusivity Of Papaya (*Carica papaya* L.) As A Function Of Temperature. *Paper presented at 2nd Mercosur Congress On Chemical Engineering – 4th Mercosur Congress Process System Engineering*. [Serial Online]. http://www.cpatia.embrapa.br/public_eletro_nica/downloads/OPB384.pdf
- [19] Sweat, V.E. 1994. "Thermal Properties Of Foods". Dalam Rao, M.A dan Rizvi, S.S.H. (Ed.). *Engineering Properties Of Foods: Second Edition Revised And Expanded*. New York: Marcel Dekker, Inc.
- [20] Liu, S.X. 2005. "Modeling Of Thermal Processing Of Foods". Dalam Hui, Y.H (Ed.). *Handbook Of Food Science, Technology, And Engineering – 4 Volume Set*. Boca Raton : CRC Press.
- [21] Modi, S.K., Prasad, B.D., dan Basavaraj,M. 2013. The Influence Of Moisture Content And Density On Thermal Conductivity Of *Ficus Carica Linnaeus* (Fig Fruit) By Transient Line Heat Source Method. *International Journal Of Engineering And Innovative Technology* [serial online]. http://www.ijeit.com/Vol%203/Issue%206/IJEIT1412201312_27.pdf.
- [22] Lisowa,H. Wujec, M. dan Lis,T. 2002. Influence Of Temperature And Variety On The Thermal Properties Of Apples. *Journal Online International Agrophysic*. http://www.old.international-agrophysics.org/artikuly/international_agrophysics/IntAgr_2002_16_1_43.pdf.
- [23] Da Costa, J.M.C dan Clemente, E. 2012. "Refrigeration And Cold Chain Effect On Fruit Shelf Life". Dalam Rodrigues. S dan Fernandes. F.A.N. (Eds.). *Advances In Fruit Processing Technologies*. New York : CRC Press.