

SIMULASI PERANGKAT LUNAK SISTEM MONITORING DISTRIBUSI TEMPERATUR PADA RUANG PENYIMPANAN PRODUK MAKANAN DAN MINUMAN

Apip Badarudin¹

¹*Jurusan Teknik Refrigerasi dan Tata Udara Politeknik Negeri Bandung, Bandung 40012
E-mail : apipbdr@polban.ac.id*

ABSTRAK

Kondisi ruang penyimpanan dingin produk makanan dan minuman memerlukan desain khusus agar mencapai kondisi sesuai standar. Salah satu parameter penting adalah distribusi temperatur di dalam ruang pendingin harus sesuai hasil rancangan. Pada penelitian ini dirancang perangkat lunak sistem monitoring distribusi temperatur pada ruang penyimpanan produk makanan dan minuman. Simulasi dilakukan pada ruang penyimpanan produk makanan tidak beku (di atas 0°C). Perangkat lunak dapat menampilkan distribusi temperatur secara waktu nyata (*real time*) dalam ruang penyimpanan produk makanan dan minuman. Data temperatur nantinya berasal dari sensor temperatur yang ditempatkan dilokasi tertentu. Simulasi distribusi temperatur dilakukan pada desain ruang pendingin berukuran panjang 9 m, lebar 8 meter dan tinggi 5 meter. Ketinggian area distribusi temperatur dibagi menjadi 3 bagian: atas, tengah dan bawah. Distribusi temperatur direpresentasikan dalam bentuk kontur-kontur temperatur di dalam ruang penyimpanan. Hasil simulasi pada kasus ini menunjukkan udara bersirkulasi dari lubang udara suplai arah kiri ke kanan sesuai semburan udara suplai dan membelok ke bawah. Selanjutnya udara bergerak dari kanan ke kiri melalui lapisan bawah menuju lubang saluran balik. Pada menit ke 5 luas area yang bertemperatur rendah masih kecil dan ketika menit ke 120 luas area yang bertemperatur rendah semakin bertambah luas dan mulai menunjukkan distribusi yang lebih homogen.

Kata Kunci

Simulasi, ruang penyimpanan dingin, distribusi temperatur, kontur, standar temperatur

1. PENDAHULUAN

Komoditas produk makanan berupa sayuran dan buah-buahan seringkali melimpah saat musim panen dan akan hilang dengan berlalunya musim tersebut. Di Indonesia hal tersebut terjadi sepanjang tahun pada hampir semua komoditas produk buah-buahan. Pada saat musim panen, produk sayuran dan buah-buahan tidak dapat bertahan lama umurnya. Untuk mengatasi hal tersebut, beberapa produk diolah menjadi bentuk makanan dan minuman namun seringkali mengubah rasa dan aromanya. Teknologi penyimpanan di dalam ruang pendingin dapat mengatasi tanpa harus mengubah rasa dan aroma produk.

Sebuah ruang penyimpanan produk makanan memerlukan desain yang harus dibuat sesuai dengan kondisi tertentu. Hal yang sering terjadi, ruang penyimpanan hasil rancangan tidak sesuai dengan standar. Parameter yang tidak sesuai antara lain pola aliran udara dan distribusi temperatur di dalam ruang tersebut. Ketidak-sesuaian bisa disebabkan antara lain konfigurasi ruangan, pengaturan debit udara dan peletakan saluran udara masuk dan udara keluar yang kurang tepat. Konfigurasi ruangan dalam hal ini adalah tata-letak produk di dalam ruang penyimpanan. Biasanya tata-letak produk menyesuaikan kondisi saluran udara masuk dan udara keluar, sehingga peletakan produk sedemikian rupa sesuai dengan standar temperatur yang ditentukan.

Beberapa penelitian yang telah dilakukan menunjukkan bahwa pola aliran udara dan distribusi temperatur dalam ruang penyimpanan mempunyai karakteristik yang bervariasi. Namun untuk memastikan hal tersebut bisa tercapai diperlukan sistem monitoring distribusi temperatur pada ruang penyimpanan produk makanan dan minuman yang dapat menampilkan peta distribusi temperatur spasial seperti pada Gambar 1.

Akdemir dan Arin (2005) melakukan penelitian tentang distribusi spasial kecepatan udara di bagian atas (langit-langit), tengah dan bawah (lantai) ruang pendingin[1]. Mereka menggunakan aplikasi perangkat lunak untuk membuat peta distribusi temperatur spasial dan penjelasan statistik serta untuk mengevaluasi data. Penentuan distribusi spasial faktor penyimpanan seperti kecepatan udara berguna untuk menerapkan teknik manajemen terbaik untuk penyimpanan produk.

Selanjutnya Akdemir dkk. (2013) melakukan pemodelan CFD untuk menentukan distribusi temperatur dan kelembaban relatif dari dua ruangan dingin yang berbeda yang memiliki dua sistem pendingin yang berbeda. Salah satu ruang pendingin yang memiliki sistem pendingin klasik seperti kompresor, kondensor dan evaporator, sedangkan ruang pendingin yang lain mempunyai sistem pengkondisian udara untuk pendinginan, ventilasi udara dingin dan sistem humidifikasi. Dinamika fluida komputasi digunakan untuk pemodelan distribusi temperatur dan kelembaban relatif. Hasil akhir simulasi menunjukkan

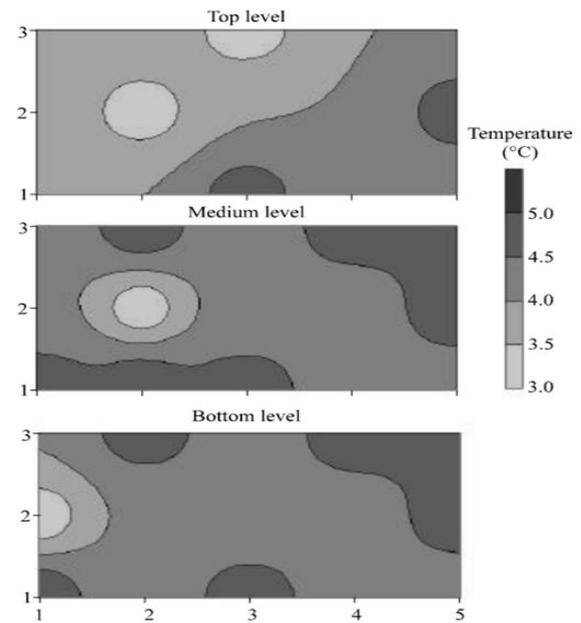
Cold store-II lebih baik daripada Cold store-I karena memiliki lubang distribusi udara yang terletak di langit-langit[2].

Berikutnya Akdemir dkk, (2015) melakukan penelitian untuk menganalisis temperatur udara dan distribusi kelembaban relatif di sebuah ruang pendingin yang dipenuhi buah apel dengan menggunakan metode eksperimental dan numerik (CFD). Model dinamika fluida komputasi tiga dimensi *unsteady* dikembangkan untuk penghitungan distribusi temperatur dan kelembaban relatif di ruang pendingin. Hasil akhir menunjukkan distribusi yang lebih homogen dicapai di tengah ruang pendingin baik untuk temperatur udara dan kelembaban relatif dengan perbedaan yang lebih kecil antara pengukuran dan simulasi[3].

Berdasarkan hal tersebut, pada penelitian ini dirancang perangkat lunak sistem monitoring distribusi temperatur pada ruang penyimpanan dingin produk makanan dan minuman. Tampilan bisa berupa numerik atau kurva kontur distribusi temperatur secara waktu nyata (*real time*). Dengan adanya sistem monitoring ini diharapkan pengguna dapat dengan mudah mengetahui kondisi ruang penyimpanan. Sebagai contoh bila ada distribusi temperatur yang tidak sesuai (berdasarkan warna) maka pengguna akan segera melakukan pengaturan temperatur atau tata-letak produk yang ada di ruang penyimpanan.

Saat musim panen komoditas produk makanan berupa sayuran dan buah-buahan yang seringkali melimpah. Hal ini diperlukan adanya teknologi penyimpanan yang baik dimana pada musim panen tersebut produk dapat disimpan dalam waktu yang lebih lama. Hal yang perlu diperhatikan saat penyimpanan adalah temperatur yang seragam di dalam ruangan. Dengan adanya monitoring distribusi temperatur diharapkan produk makanan dan minuman dapat terjaga sehingga umur penyimpanannya bertahan lebih lama dan dapat dinikmati sepanjang tahun.

Penelitian ini diharapkan dapat membuka wawasan bagi pengguna ruang penyimpanan dingin produk agar tetap baik dan umur produk menjadi lebih lama. Dengan adanya perangkat lunak distribusi temperatur ini diharapkan penyimpanan produk makanan dapat menghemat energi. Dengan demikian biaya operasional dan pemeliharaan menjadi lebih murah.



Gambar 1. Peta distribusi temperatur spasial[1]

Fasilitas pendinginan adalah bangunan atau bagian dari bangunan yang kondisi penyimpanannya menggunakan sistem pendingin. Fasilitas penyimpanan dikelompokkan menjadi:

1. Penyimpanan yang menjaga komoditas pada temperatur di atas 0°C
2. Penyimpanan temperatur rendah (*freezer*) yang beroperasi di bawah 0°C untuk mencegah pembusukan atau mempertahankan atau memperpanjang umur produk.

Kondisi di dalam ruang pendingin tertutup harus dipertahankan untuk menjaga produk yang disimpan. Ini merujuk terutama pada penyimpanan musiman, umur simpan, dan penyimpanan jangka panjang[4]. Hal-hal yang harus dipertimbangkan di ruang penyimpanan adalah:

- Temperatur seragam
- Panjang lintasan aliran udara dan tumbukan pada produk yang disimpan
- Efek kelembaban relatif
- Pengaruh pergerakan udara pada karyawan
- Ventilasi terkontrol (jika diperlukan)
- Temperatur produk saat masuk
- Durasi penyimpanan yang diharapkan
- Temperatur produk saat keluar
- Lalu-lintas masuk dan keluar dari area penyimpanan

Berbagai penelitian yang telah dilakukan untuk mengetahui cara mencapai keseragaman temperatur dan pendinginan yang cepat di dalam ruang penyimpanan. Kesemuanya itu tidak terlepas dari cara penyimpanan produk makanan yang efisien dan pengamatan kinerja sistem pendingin untuk menghemat energi. Beberapa peneliti juga melakukan simulasi menggunakan perangkat lunak CFD (*Computational Fluid Dynamics*)

dan hasil simulasi divalidasi menggunakan pengukuran secara langsung.

Penelitian yang dilakukan Chourasia dan Goswami menunjukkan bahwa pemodelan sangat baik aplikasikan untuk menggabungkan perbaikan desain ruang penyimpanan yang diperlukan dengan maksud untuk meningkatkan distribusi aliran udara dan perpindahan panas untuk membatasi kerugian penyimpanan produk dalam batas yang diizinkan [5, 6].

Tanaka dkk. (2012) melakukan pemodelan yang digunakan untuk menilai kinerja pendinginan toko yang melakukan bongkar-muat produk. Dalam penelitiannya, mereka menginvestigasi bagaimana pola menumpuk produk di cold store agar pendinginan tercapai dengan seragam dan cepat. Untuk memperpanjang umur penyimpanan produk segar, perlu diperhatikan efek dari pola bongkar-muat terhadap kinerja sistem pendinginan. Model pendinginan yang dikembangkan menggunakan 48 kontainer *fiberboard* bergelombang ditempatkan berdasarkan pada satu model pendingin wadah. Hasilnya tempat bongkar-muat yang datar dengan celah udara adalah konfigurasi optimal untuk mencapai keseragaman temperatur maksimum dan pendinginan cepat[7].

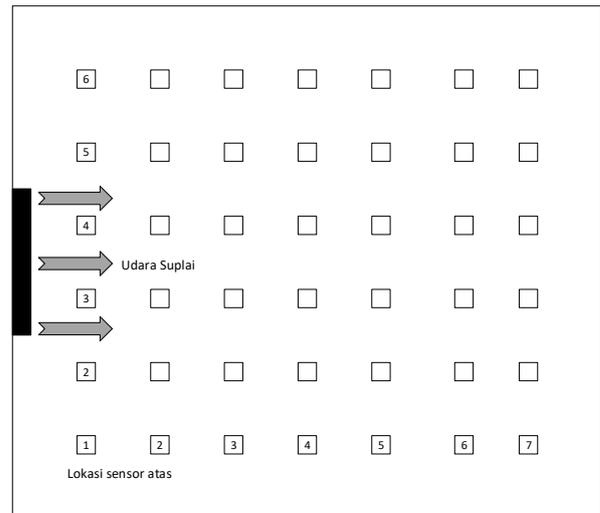
Penerapan ruang pendingin memiliki potensi sebagai beban yang dapat dikendalikan dalam lingkungan jaringan pintar (*a smart grid environment*). Waschull dkk. (2014) melakukan investigasi yang berfokus pada pengembangan cold storage yang sesuai, sensor pengisian daya resolusi tinggi untuk cold storage dan kontrol perangkat keras dan perangkat lunak yang diaplikasikan pada penyimpanan dingin untuk berbagai mode pasokan energi[8].

Soylemez dkk. (2019) melakukan analisis numerik dan eksperimental dengan menginvestigasi refrigerator hibrid (*hybrid household refrigerator, HHR*). Penentuan lokasi optimal untuk pendingin termoelektrik yang dipasang di HHR I, dan analisis CFD dilakukan. Selanjutnya ditentukan prediksi CFD untuk HHR II dan III, serta diinvestigasi secara eksperimental. Prediksi CFD menunjukkan distribusi kecepatan dan temperatur udara yang lebih seragam di dalam kompartemen HHR II dan III dibandingkan dengan HHR I. Selain itu, pengukuran eksperimental menunjukkan peningkatan efisiensi energi HHR II dan III[9, 10].

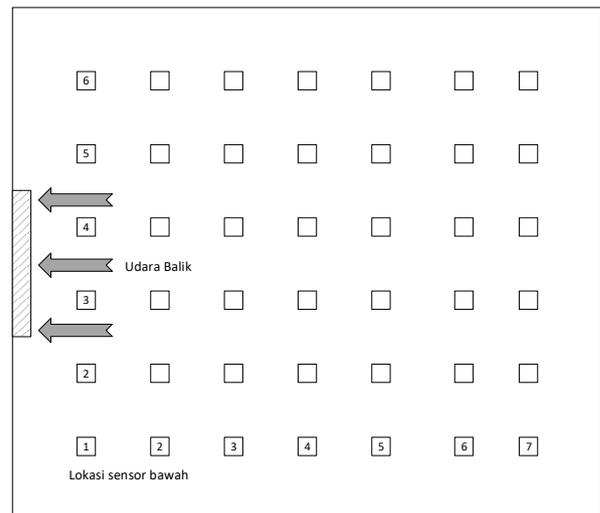
2. METODE PENELITIAN

Pada penelitian ini dirancang perangkat lunak sistem monitoring distribusi temperatur pada ruang penyimpanan produk makanan dan minuman. Pada penelitian sebelumnya telah dilakukan simulasi pada ruang penyimpanan produk makanan tidak beku (di atas 0°C). Penelitian tersebut dapat mengetahui pola aliran udara dan distribusi temperaturnya sehingga didapatkan konfigurasi penempatan produk makanan pada posisi yang sesuai terutama standar temperatur penyimpanannya. Pada penelitian ini didesain perangkat lunak yang dapat menampilkan distribusi temperatur secara waktu nyata (*real time*) dalam ruang

penyimpanan produk makanan dan minuman sesuai dengan penempatan sensor temperatur di lokasi dimana terdapat temperatur ekstrim.



(a)



(b)

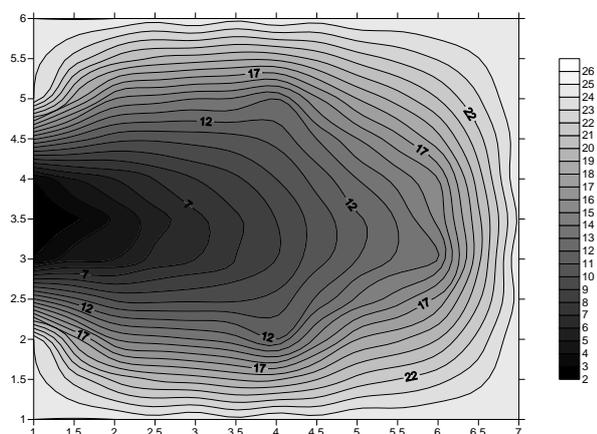
Gambar 2. Area distribusi temperatur (a. atas; b. bawah)

Pada penelitian ini dilakukan simulasi distribusi temperatur dengan desain ruang pendingin berukuran panjang 9 m, lebar 8 meter dan tinggi 5 meter. Lubang suplai udara diletakkan di salah satu dinding ($8 \times 5 \text{ m}^2$) bagian atas sedangkan lubang udara balik diletakkan di bagian bawah. Gambar 2 menunjukkan jarak titik-titik sensor temperatur 1 meter dari dinding, sehingga luas area simulasi distribusi temperatur adalah $7 \text{ m} \times 6 \text{ m}$ (mendatar). Ketinggian area distribusi temperatur dibagi menjadi 3 bagian: atas, tengah dan bawah.

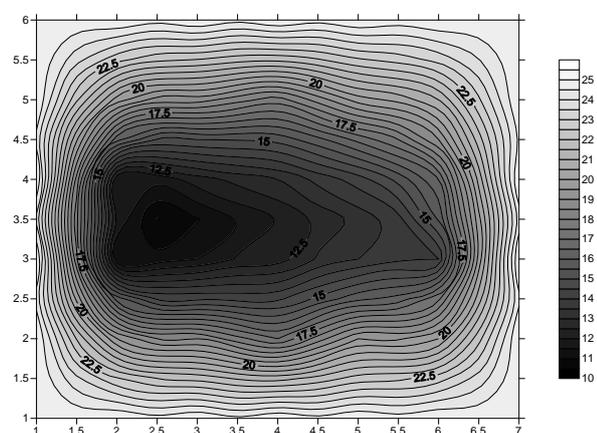
3. DISKUSI

Berikut ini memperlihatkan hasil simulasi distribusi temperatur di dalam ruangan yang digambarkan dalam bentuk garis kontur-kontur temperatur dengan selisih temperatur 0.5°C. Warna lebih gelap menunjukkan temperatur lebih rendah. Gambar 2a menunjukkan distribusi temperatur di lapisan atas pada menit ke 5.

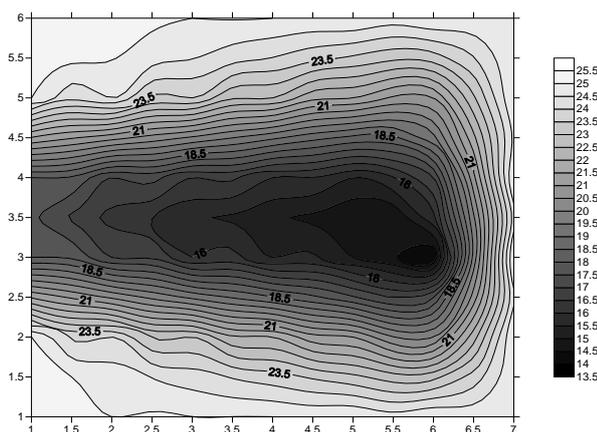
Luas area yang bertemperatur di bawah 7°C masih cukup kecil sedangkan area yang berada di atas 7°C masih cukup besar.



(a)



(b)



(c)

Gambar 2. Distribusi Temperatur ruang penyimpanan tanpa produk setelah 5 menit (a. atas; b. tengah; c. bawah)

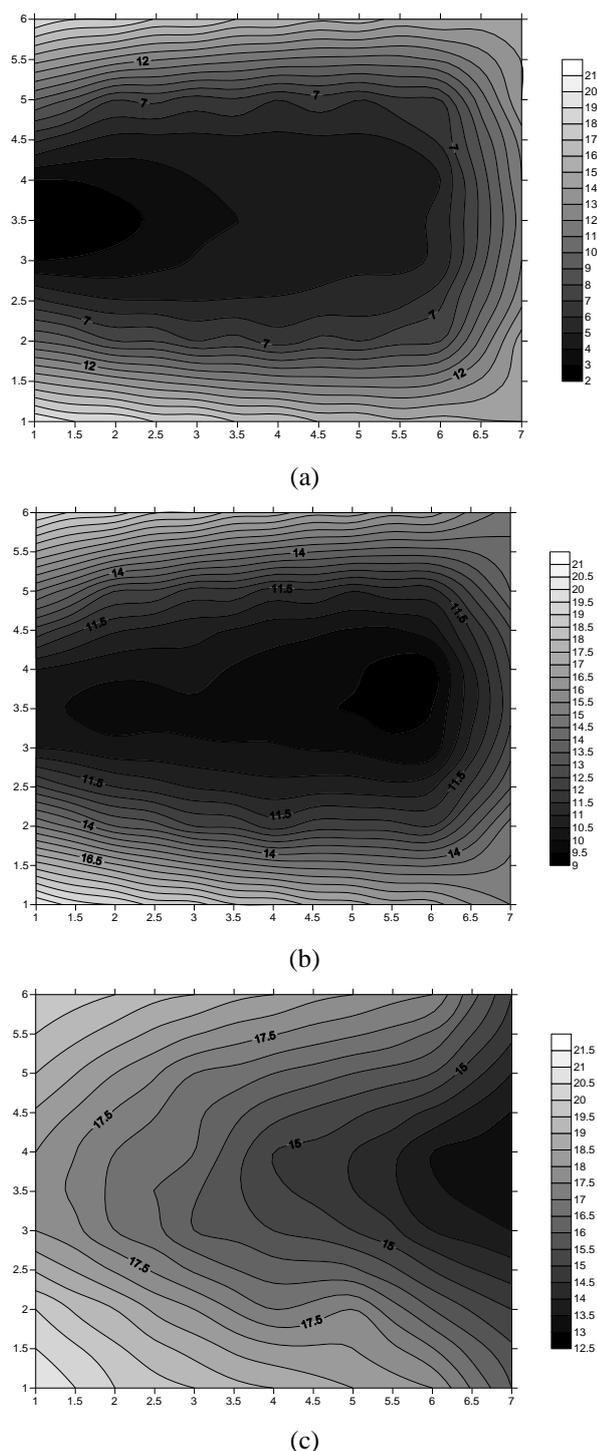
Gambar 2a menunjukkan bagian yang lebih gelap (di bawah 7°C) terlihat menempel di dinding sebelah kiri dimana suplai udara dingin berada di sekitar area tersebut. Udara disebarkan dari suplai (kiri) menuju

ke dinding di seberangnya (kanan). Temperatur bergradasi dari kiri ke kanan dimana di area sisi sebelah kiri terlihat lebih dingin dari pada area sebelah kanan. Bila diperhatikan lebih detil, terlihat di lapisan atas temperatur membesar searah dengan keluarnya udara suplai dari kiri ke kanan. Hal ini menunjukkan udara bergerak dari lubang saluran udara suplai arah kanan sesuai semburan udara suplai. Bagian yang terletak dekat dinding lainnya (atas-bawah) juga belum terlihat penurunan temperatur yang signifikan.

Gambar 2b menunjukkan distribusi temperatur di lapisan tengah pada menit ke 5. Hal tersebut menunjukkan fenomena yang kurang lebih sama dengan yang ditunjukkan pada gambar 2a. Area yang bertemperatur terendah adalah 10°C. Luas area yang bertemperatur terendah masih cukup kecil. Hal ini terlihat area yang lebih gelap tidak terlihat luas. Gambar tersebut juga menunjukkan bagian yang lebih gelap terlihat di sebelah kiri agak menjauh dari dinding dimana suplai udara dingin berada di sekitar area tersebut, sehingga semburan udara dari suplai (kiri) menuju ke dinding di seberangnya (kanan) mempengaruhi distribusi di lapisan tengah. Temperatur bergradasi dari kiri ke kanan dimana di area sisi sebelah kiri terlihat lebih dingin dari pada area sebelah kanan. Fenomena yang sama juga terlihat di bagian lapisan tengah dimana bagian yang terletak dekat dinding lainnya (atas-bawah) juga belum terlihat penurunan temperatur yang signifikan.

Gambar 2c menunjukkan distribusi temperatur di lapisan bawah pada menit ke 5. Hal tersebut menunjukkan fenomena yang kurang lebih sama dengan yang ditunjukkan pada gambar 2a. Area yang bertemperatur terendah adalah 13.5°C dengan luas area yang masih cukup kecil. Perbedaan dengan Gambar 2a bahwa bagian temperatur lebih dingin (lebih gelap) terlihat lebih dekat pada dinding kanan dari pada dinding kiri (suplai udara dingin). Temperatur bergradasi dari kanan ke kiri dimana di area sisi sebelah kanan terlihat lebih dingin dari pada area sebelah kiri. Bila diperhatikan lebih detil, terlihat di lapisan bawah temperatur membesar searah dengan masuknya udara balik dari kanan ke kiri. Hal ini menunjukkan udara arah kanan ke kiri menuju lubang udara balik (lapisan bawah).

Gambar 3a menunjukkan distribusi temperatur di lapisan atas pada menit ke 120 dengan temperatur terkecil adalah 2°C. Area yang bertemperatur di bawah 7°C semakin luas dibandingkan dengan menit ke 5. Hal ini terlihat dimana area gelap mulai memenuhi permukaan bagian atas yang menunjukkan distribusi temperatur bagian atas mulai merata. Sedangkan bagian yang terletak dekat dinding lainnya (atas-bawah) sudah terlihat penurunan temperatur yang signifikan.



Gambar 3. Distribusi Temperatur ruang penyimpanan tanpa produk setelah 120 menit (a. atas; b. tengah; c. bawah)

Gambar 3b menunjukkan distribusi temperatur di lapisan tengah pada menit ke 120. Hal tersebut juga menunjukkan fenomena yang kurang lebih sama dengan yang ditunjukkan pada gambar 3a dimana area yang bertemperatur terendah adalah 9°C dan menunjukkan semakin meluas. Area yang lebih gelap terlihat semakin menjauh dari dinding kiri dimana suplai udara dingin berada di sekitar area tersebut. Semburan udara dari suplai (kiri) cukup mempengaruhi distribusi di lapisan

tengah. Temperatur bergradasi dari kiri ke kanan dimana di area sisi sebelah kiri terlihat lebih dingin dari pada area sebelah kanan. Pada area dinding lainnya terlihat penurunan temperatur yang signifikan.

Gambar 3c menunjukkan distribusi temperatur di lapisan bawah pada menit ke 120. Hal tersebut juga menunjukkan fenomena yang kurang lebih sama dengan yang ditunjukkan pada gambar 2c. Area temperatur terendah adalah 12.5°C dan terlihat semakin meluas. Area bertemperatur lebih dingin (lebih gelap) terlihat lebih menyebar mendekati dinding kanan dari pada dinding kiri dan bergradasi dimana di area sisi sebelah kanan terlihat lebih dingin dari pada area sebelah kiri. Bila diperhatikan lebih detil, terlihat di lapisan bawah temperatur membesar searah dengan masuknya udara balik dari kanan ke kiri. Hal ini menunjukkan udara bersirkulasi dari lubang saluran udara suplai arah kiri ke kanan sesuai semburan udara suplai (lapisan atas) dan membelok ke bawah (dekat dinding kanan). Selanjutnya udara akan bergerak dari kanan ke kiri melalui lapisan bawah menuju lubang saluran balik.

Gambar 3a dan 3b mulai menunjukkan distribusi yang lebih homogen dicapai di tengah ruang pendingin.

4. KESIMPULAN

Distribusi temperatur pada simulasi ini direpresentasikan dalam bentuk kontur-kontur sehingga lebih mudah membaca kondisi temperatur di dalam ruang penyimpanan. Pada simulasi ini terlihat udara bersirkulasi dari lubang saluran udara suplai arah kiri ke kanan sesuai semburan udara suplai dan membelok ke bawah. Selanjutnya udara akan bergerak dari kanan ke kiri melalui lapisan bawah menuju lubang saluran balik. Pada awal simulasi (menit ke 5) luas area dengan temperatur rendah masih kecil dan ketika menit ke 120 luas area yang bertemperatur rendah semakin bertambah luas yang mulai menunjukkan tercapainya distribusi yang lebih homogen di tengah ruang pendingin.

5. DAFTAR PUSTAKA

- [1] S. Akdemir and S. Arin, "Effect of Air Velocity on Temperature in Experimental Cold Store," *Journal of Applied Sciences*, vol. 5, no. 1, pp. 70-74, 2004, doi: 10.3923/jas.2005.70.74.
- [2] S. Akdemir, S. Ozturk, F. O. Edis, and E. Bal, "CFD Modelling of Two Different Cold Stores Ambient Factors," *IERI Procedia*, vol. 5, pp. 28-40, 2013, doi: 10.1016/j.ieri.2013.11.066.
- [3] S. Akdemir, "Numerical modelling and experimental validation of a cold store ambient factors," *Tarım Bilimleri Dergisi*, vol. 21, pp. 606-619, 01/01 2015, doi: 10.1501/Tarimbil_0000001361.
- [4] Ashrae, *ASHRAE Handbook 2018: Refrigeration: Si Edition*. Amer Society of Heating, 2018.
- [5] M. K. Chourasia and T. K. Goswami, "Steady state CFD modeling of airflow, heat transfer and moisture loss in a commercial potato cold store," *International Journal of Refrigeration*, vol. 30, no.

- 4, pp. 672-689, 2007, doi:
10.1016/j.ijrefrig.2006.10.002.
- [6] M. K. Chourasia and T. K. Goswami, "CFD simulation of effects of operating parameters and product on heat transfer and moisture loss in the stack of bagged potatoes," *Journal of Food Engineering*, vol. 80, no. 3, pp. 947-960, 2007, doi: 10.1016/j.jfoodeng.2006.07.015.
- [7] F. Tanaka, Y. Konishi, Y. Kuroki, D. Hamanaka, and T. Uchino, "The Use of Cfd to Improve the Performance of a Partially Loaded Cold Store," *Journal of Food Process Engineering*, vol. 35, no. 6, pp. 874-880, 2012, doi: 10.1111/j.1745-4530.2011.00636.x.
- [8] J. Waschull, R. Müller, W. Henschler, and R. Künanz, "Cold Storage Devices for Smart Grid Integration," *Energy Procedia*, vol. 46, pp. 48-57, 2014, doi: 10.1016/j.egypro.2014.01.157.
- [9] E. Söylemez, E. Alpman, A. Onat, Y. Yükselentürk, and S. Hartomacıoğlu, "Numerical (CFD) and experimental analysis of hybrid household refrigerator including thermoelectric and vapour compression cooling systems," *International Journal of Refrigeration*, vol. 99, pp. 300-315, 2019, doi: 10.1016/j.ijrefrig.2019.01.007.
- [10] E. Söylemez, E. Alpman, and A. Onat, "Experimental analysis of hybrid household refrigerators including thermoelectric and vapour compression cooling systems," *International Journal of Refrigeration*, vol. 95, pp. 93-107, 2018, doi: 10.1016/j.ijrefrig.2018.08.010.