

Simulasi Pengaruh Peletakan Outlet pada Distribusi Temperatur di dalam Ruang Pendingin Sayur dan Buah

Eka Lutfi Septiani^[1], Shanti Kartika Sari^[2]
 Chemical Engineering Department^[1], Management Engineering Department^[2]
 Universitas Internasional Semen Indonesia
 Gresik, Indonesia
 eka.septiani@uisi.ac.id

Abstract— Ruang pendingin merupakan alat yang sangat penting dalam agroindustri dan logistik sayuran dan buah. Sebanyak 30% buah dan sayur yang telah dipanen mengalami kerusakan akibat penyimpanan yang kurang tepat. Makamerencanakan desain ruang pendingin perlu dilakukan. Penelitian ini dilakukan pada skala *pilot plan* di kampus C Universitas Internasional Semen Indonesia sebagai validasi pemodelan. Performa dari desain ruang pendingin yang dirancang perlu dievaluasi menggunakan pemodelan berbasis Computational Fluid Dynamic (CFD) karena factor biaya dan waktu. Pemodelan berbasis CFD mampu menyelesaikan persoalan perpindahan momentum, panas dan massa. Sistem turbulensi yang digunakan ialah RNG k-epsilon, dengan species transport. Karena salah satu yang berpengaruh pada kualitas ruang pendingin ialah bentuk geometri, pada penelitian ini dilakukan simulasi dengan variasi peletakan outlet. Hasil yang diperoleh menunjukkan bahwa posisi outlet menentukan distribusi suhu didalam ruang pendingin, semakin jauh posisi outlet maka semakin seragam distribusi temperaturnya.

Keywords— RNG k- ϵ ; CFD; Ruang Pendingin Sayur dan Buah; Distribusi Temperatur

I. PENDAHULUAN

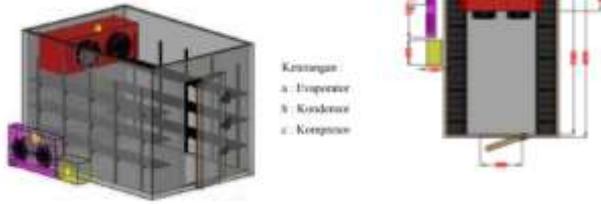
Nutrisi pada sayur dan buah merupakan hal yang terpenting untuk dijaga saat pasca panen pasalnya sayur dan buah memiliki kandungan vitamin, karbohidrat, mineral dan protein yang dibutuhkan oleh manusia [1]. Namun, lamanya masa penyimpanan dapat menyebabkan pembusukan dan kelayuan pada sayur dan buah. Setiap tahun rata-rata berkisar 25 – 30% buah dan sayur mengalami kerusakan seperti halnya di Negara India [2]. Sehingga perlu digunakan ruangan pendingin yang dapat mencegah kelayuan dan kerusakan buah dan sayur untuk waktu yang relative lama. komponen utama ruang pendingin ialah besar rongga ruang penyimpan, jenis dan tebal insulator dan konfigurasi system pendinginnya. Jenis insulator berpengaruh pada mekanisme perpindahan panas yang terjadi dan system pendingin digunakan untuk menjaga suhu yang diinginkan. Meskipun ruangan pendingin dapat menjaga kesegaran dan nutrisi buah dan sayur, kebutuhan energi yang digunakan oleh ruangan pendingin cukup besar, di salah satu supermarket di Inggris memerlukan 40 – 50% dari total kebutuhan energi di supermarket [3]. kebutuhan suhu ini dapat dioptimasi dengan mempertimbangkan pemilihan insulator, konfigurasi system pendingin dan memperhatikan pola aliran fluida dingin didalam ruang pendingin. Dalam eksperimen,

pengamatan pola alir fluida dingin akan sangat sulit dilakukan sehingga diperlukan sebuah pemodelan yang mampu menyelesaikan konsep perpindahan momentum dan panas. Dalam hal ini komputasi berbasis dinamika fluida (CFD) dapat dipilih karena terhubung dengan perhitungan proses perpindahan momentum, panas, dan massa. Liming Wang et. al. (2015) menunjukkan bahwa simulasi berbasis CFD dapat digunakan untuk meningkatkan performa ruang pendingin, dalam penelitiannya sebuah ruang pendingin dilengkapi dengan dua celah, di atas dan di bawah, pada salah satu dinding ruangan dengan simulasi system nyala dan mati. Dalam penelitiannya digunakan pemodelan turbulensi standard k- ϵ untuk persamaan momentumnya [4]. Pemodelan menggunakan persamaan standard k- ϵ juga dilakukan pada ruang pendingin besar, dalam penelitian ini dilakukan pengamatan karakteristik suhu dan pola alir untuk ruangan pendingin dengan variasi jumlah evaporator. Persamaan standard k- ϵ cenderung lebih tepat digunakan pada dimensi yang cenderung simetri dan sulit digunakan dalam pemodelan ruang pendingin dengan dimensi yang lebih kompleks. Hoang M. L. et. al. (1999) memodelkan ruang pendingin dengan dimensi yang tidak simetri dan pemodelan turbulensi RNG k- ϵ menyatakan bahwa pemodelan turbulensi tidak memberikan dampak pada hasil perhitungan, namun ukuran dan jumlah grid yang berpengaruh pada perhitungan yang dilakukan [5]. Jumlah grid yang digunakan dalam perhitungan merupakan salah satu hal terpenting dalam pemodelan berbasis CFD, namun pernyataan pemodelan turbulensi tidak berpengaruh pada hitungan dan jumlah gridlah yang paling berpengaruh pada hasil simulasi belum terbukti sepenuhnya karena pada penelitian belum menunjukkan kualitas dari grid dimensi alat. Dimensi alat dan peletakan kondisi batas juga memberikan hasil yang signifikan terhadap hasil simulasi berbasis CFD [6]. Maka pada penelitian ini digunakan pemodelan turbulensi RNG k- ϵ dengan memastikan kualitas grid yang baik. Pengamatan yang dilakukan ialah pola alir fluida dingin dan distribusi temperatur dengan variasi peletakan posisi outlet fluida dingin. Pada ruang pendingin dimensi, peletakan, dan bahan dapat memberikan pengaruh yang cukup signifikan.

II. METODOLOGI

Sebelum melakukan simulasi ruang pendingin dilakukan perhitungan flux perpindahan panas dan daya yang diperlukan untuk ruang pendingin dengan dinding ruang pendingin yang

terdiri dari stainlesssteel, insulator polyurethane, dan aluminium. Rata-rata flux perpindahan panas pada dinding dan pintu ruang pendingin ialah 0.36 W/m². Dimensi yang digunakan dalam penelitian ini berupa ruang pendingin yang berupa container, ruang pendingin ini akan didasari setelah mendapatkan desain yang optimum dengan ukuran seperti pada Gambar 1.



Gambar 1. Desain container sebagai ruang pendingin

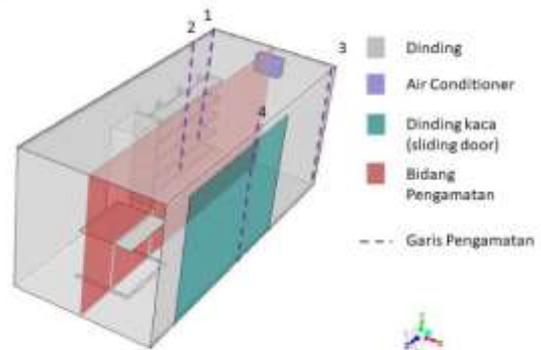
Tahapan dalam simulasi ini dimulai dengan mencari pemodelan yang paling sesuai dengan kondisi nyata dari pengamatan distribusi suhu pada container yang telah ada di kampus C UI SI, pemodelan yang sesuai selanjutnya digunakan untuk simulasi ruang pendingin yang direncanakan. Langkah pertama dalam melakukan simulasi berbasis CFD ialah membuat geometri atau volume yang akan dihitung, dalam penelitian ini didefinisikan geometri container yang telah terpasang di kampus C UI SI dan geometri container yang direncanakan. Selanjutnya dilakukan tahap membagi grid dengan pendekatan finite element method. Pembagian grid dalam setiap simulasi disini dipastikan memiliki kualitas meshing yang baik, parameternya ialah orthogonal quality yang mendekati angka 1 menunjukkan meshing yang paling baik dan skewness dari grid yang paling mendekati sempurna ialah apabila ≤ 0,25. Validasi simulasi dari container yang telah terpasang di kampus C UI SI dilakukan sebanyak 1 kali dengan menyesuaikan dimensi yang ada pada tempatnya, geometrinya terbagi menjadi 117.318 grid dengan orthogonal quality 0,84 dan skewness 0,247. Sedangkan untuk container dengan desain yang direncanakan disimulasikan sebanyak 3 kali dengan variasi peletakan outlet yang berhubungan dengan kompresor. Variasi yang digunakan ialah penempatan outlet pada sumbu z = 0 m, z=1,5 m, dan z=3 m. Karena geometri tidak simetri, maka pembagian domain perhitungan menggunakan metode finite element yang terbagi menjadi grid berbentuk tetrahedral. Simulasi ini dilakukan berdasarkan pressure-based dengan pemodelan momentumnya menggunakan Reynold Average Navier Stokes (RANS) yakni metode RNG k-ε. RANS dipilih karena performanya yang memungkinkan kondisi paling tepat dengan problem yang akan diselesaikan, selain itu pemilihan pemodelan ini juga didasarkan dari beban komputasi untuk metode ini ialah yang paling ringan bila dibandingkan dengan metode Large Eddy Simulation (LES) dan Detachment Eddy Simulation (DES). Pemodelan RNG k-ε merupakan pengembangan dari metode standard k-ε yang turut memperhitungkan perputaran fluida pada saat turbulen. Persamaan ini diturunkan dari persamaan Reynold Average Navier Stokes menggunakan teknik matematik yang disebut “renormalisasi grup” (RNG) [7] sebagai berikut

$$\frac{\partial}{\partial t}(\rho k) + \frac{\partial}{\partial x_i}(\rho k u_i) = \frac{\partial}{\partial x_j} \left(a_k \mu_{eff} \frac{\partial k}{\partial x_j} \right) + Gk + Gb - Y_M + S_k \tag{1}$$

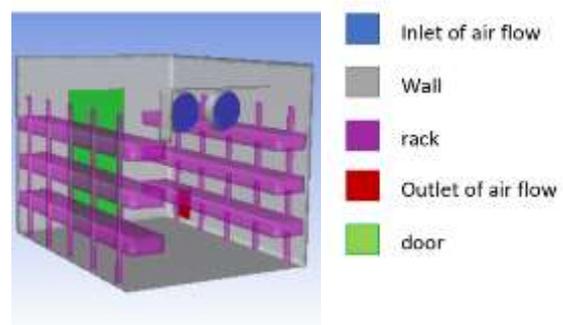
Dan

$$\frac{\partial}{\partial t}(\rho \epsilon) + \frac{\partial}{\partial x_i}(\rho \epsilon u_i) = \frac{\partial}{\partial x_j} \left(a_\epsilon \mu_{eff} \frac{\partial \epsilon}{\partial x_j} \right) + C_{1\epsilon} \frac{\epsilon}{k} (Gk + C_{3\epsilon} Gb) - C_{2\epsilon} \rho \frac{\epsilon^2}{k} - R_\epsilon + S_\epsilon \tag{2}$$

Dalam persamaan ini, Gk merupakan generasi dari energi kinetic turbulen karena gradien kecepatan rata-rata. Sedangkan Gb merupakan generasi dari energi kinetic akibat gaya apung. Ym menunjukkan kontribusi perhitungan dilatasi fluktuatif turbulensi kompresibel kedalam laju berkurangnya energi. Ak dan aε ialah infers dari Bilangan Prandtl untuk harga k dan ε. Dalam penelitian ini tidak dinyatakan tambahan persamaan sehingga nilai Sk dan Sε berharga 0.



(a)

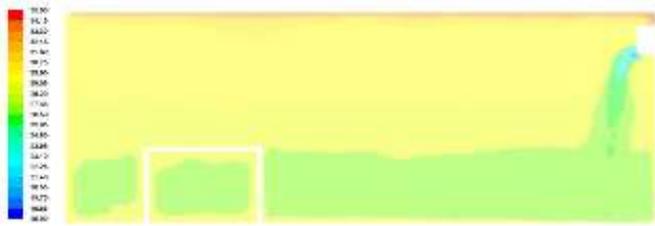


(b)

Gambar 2. Pembagian Kondisi Batas pada Simulasi Cool Storage (a) Kontainer yang sudah ada (b) Kontainer yang akan dirancang

III. HASIL DAN PEMBAHASAN

Simulasi pertama dilakukan dengan pendekatan RNG k-ε pada geometri container di kampus C menunjukkan kecenderungan yang sesuai dengan kondisi nyata. Gambar 3 menunjukkan bahwa zona yang memiliki suhu paling rendah ialah tepat di bagian outlet evaporator dari AC. Distribusi suhu dari bawah keatas berkisar mulai dari 24°C hingga 33°C.



Gambar 3. Distribusi Temperatur (satuan derajat Celsius) container di kampus C UISI

Grafik distribusi temperatur hasil simulasi telah dibandingkan dengan hasil pengamatan secara eksperimen, seperti yang terlihat pada Gambar 4 sampai 7 tidak ada perbedaan yang signifikan antara hasil pengamatan eksperimen dan secara simulasi. Absolut error rata-rata pada setiap titik pengamatan dihitung dan semua titik pengamatan menunjukkan absolute error rata-ratanya tidak sampai 7%. Pada garis pengamatan 1 berkisar 2,4%, garis pengamatan 2 berkisar 6,8%, garis pengamatan 3 sekitar 6,2% dan garis pengamatan 4 menunjukkan nilai absolute error rata-rata 6,9%. Hal ini menunjukkan bahwa simulasi ini dapat digunakan untuk memprediksi desain ruangan pendingin yang direncanakan. Kecenderungan ini dapat dikatakan baik karena kurang dari 10% untuk dimensi 3D.

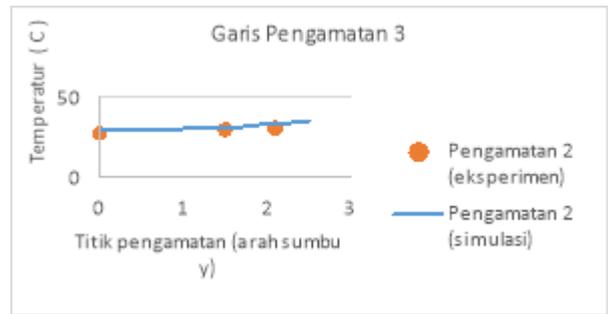


Gambar 4. Distribusi temperature pada garis pengamatan 1



Gambar 5. Distribusi temperature pada garis pengamatan 2

Simulasi pada desain ruangan pendingin dilakukan sebanyak tiga kali sesuai dengan variasi letak outlet yang terhubung dengan compressor. Peletakan posisi outlet yang terhubung dengan kompresor memberikan efek yang signifikan terhadap distribusi temperature didalam ruang pendingin.

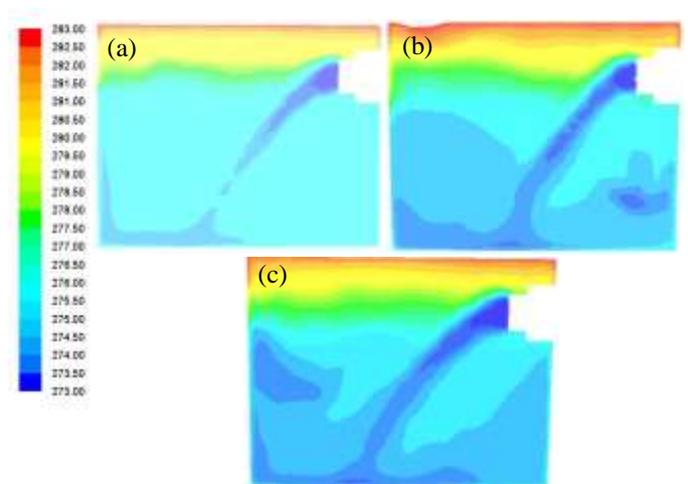


Gambar 6. Distribusi temperature pada garis pengamatan 3



Gambar 7. Distribusi temperature pada garis pengamatan 4

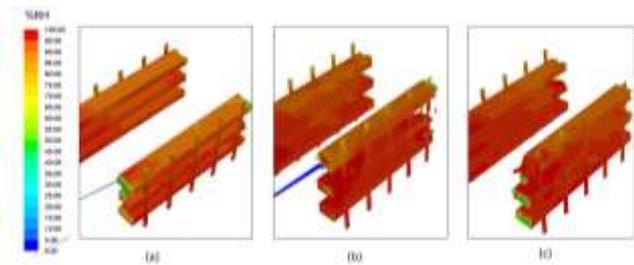
Seperti yang terlihat pada Gambar 8, menunjukkan bahwa peletakan outlet pada posisi menjauhi inlet dapat memberikan distribusi temperature yang lebih seragam pada ketinggian dibawah evaporator yaitu sekitar 5°C, sedangkan pada peletakan outlet ada posisi $z = 1,5$ m dan $z = 0$ m memberikan distribusi temperature yang beragam. Pada area rak bagian bawah terdapat temperature sekitar 1°C dan bagian rak atas sekitar 5°C. Hal ini dapat terjadi dikarenakan terdapat pusaran udara dingin didalam ruang pendingin.



Gambar 8. Distribusi temperature (satuan Kelvin) pada bidang pengamatan 1 dengan variasi peletakan outlet (a) $z = 3$, (b) $z = 1.5$, (c) $z = 0$

Dalam penelitian ini juga dilakukan analisa nilai Relatif Humidity (RH) pada rak sayur dan buah karena berdasarkan nilai RH dapat diprediksi seberapa lama ketahanan sayur dan buah terhindar dari kebusukan. Gambar 6 menunjukkan bahwa

pada seluruh posisi outlet memberikan distribusi RH yang sama pada rak paling atas berkisar 85 – 90%. Sedangkan pada rak tengah dan paling bawah memiliki RH diantara 90 – 100%. Semakin jauh posisi outlet di sumbu z dari titik pusat, RH yang terdapat pada rak sayur dan buah menjadi semakin kecil dan begitu sebaliknya pada posisi outile di sumbu z = 0 m, memperlihatkan rata-rata RH diatas 95%. RH diatas 95% akan menjadikan sayur dan buah dapat bertahan lebih lama karena dapat mempertahankan kesegaran buahnya [8].



Gambar 9. Distribusi nilai %Relative Humidity pada rak, posisi outlet (a) $z=3$ m, (b) $z=1.5$ m, (c) $z=0$ m.

IV. KESIMPULAN

Desain ruang pendingin yang akan diaplikasikan telah disimulasikan menggunakan CFD dengan tahap validasi terlebih dahulu dan dilanjutkan dengan tahapan prediksi performa ruang pendingin yang direncanakan. Tahapan validasi dilakukan dengan membandingkan distribusi temperature pada container yang telah tersedia di kampus C UI SI, pemodelan yang sesuai digunakan untuk simulasi desain ruangan pendingin dengan variasi outlet yang terhubung dengan compressor. Hasil simulasi menunjukkan bahwa peletakan outlet berpengaruh pada distribusi temperature di dalam ruangan pendingin. Data ini dapat digunakan untuk mengatur sayur dan buah apa yang tepat diatur di dalam ruang pendingin.

UCAPAN TERIMA KASIH

Author menyampaikan ucapan terima kasih kepada Ristek DIKTI yang memberikan dana hibah Penelitian Dosen Pemula serta kepada Lembaga penelitian dan Pengabdian masyarakat Universitas Internasional Semen Indonesia (LPPM UI SI).

DAFTAR PUSTAKA

- [1] J. T. Liberty, W. I. Okonkwo, and E. A. Echiegu, "Evaporative Cooling: A Postharvest Technology for Fruits and Vegetables Preservation," vol. 4, no. 8, pp. 2257–2266, 2013.
- [2] J. Bhandari and M. E. T. Engineer, "Temperature and Velocity Distribution in Apple cold," vol. 1, no. 5, pp. 511–517, 2016.
- [3] R. Faramazi, "Efficient display case refrigeration," ASHRAE J, 1999 46-54.
- [4] L. Wang, L. Zhang, and G. Lian, "A CFD Simulation of 3D Air Flow and Temperature Variation in Refrigeration Cabinet," *Procedia Eng.*, vol. 102, pp. 1599–1611, 2015.
- [5] M. L. Hoang, P. Verboven, J. De Baerdemaker, and B. M. Nicolaöe, "Analysis of the air flow in a cold store by means of computational," vol. 23, pp. 127–140, 2000.
- [6] A. Kaood and E. E. K. M. El-hariry, "Flow Patterns and Thermal Behaviour in a Large Refrigerated Store," vol. 13, no. 2, pp. 81–92, 2016.
- [7] Anonim, "Ansys Fluent 14.0 teory Guide," p. 14.
- [8] P. J. Sharkey and I. D. Peggie, "effects of high humidity storage on quality, decay and Storage life of cherry, lemon and peach fruits" vol. 23, pp. 181–190, 1984.