

KAJIAN SUHU DAN ALIRAN UDARA DALAM KEMASAN BERVENTILASI MENGGUNAKAN TEKNIK *COMPUTATIONAL DYNAMIC* (CFD)

Emmy Darmawati ¹⁾, Yudik Adhinata ²⁾

Departemen Teknik Pertanian, Fakultas Teknologi Pertanian, Institut Pertanian Bogor, Phone : 0251- 8627860, E-mail : emi_handono@yahoo.com

Abstrak

Banyak tipe ventilasi yang beredar dipasar terutama pada kemasan buah-buahan impor yang perlu dikaji pengaruhnya terhadap pola perubahan suhu dan aliran udara yang terjadi. Teknik *Computational Dynamic* (CFD) dapat dimanfaatkan untuk menggambarkan perubahan suhu dan aliran udara dalam kemasan. Penelitian bertujuan untuk mengetahui pengaruh tipe ventilasi terhadap pola perubahan suhu dan aliran udara dalam kemasan menggunakan teknik CFD. Penelitian dilakukan untuk tiga tipe ventilasi yaitu oval, lingkaran dan campuran pada kondisi suhu kamar dan suhu *cold storage* (7-5 °C). Pada simulasi menggunakan CFD dibuat dua skenario untuk ventilasi tipe oval dan campuran. Skenario tersebut didasarkan pada penetapan lubang ventilasi sebagai inlet dan outlet.

Hasil penelitian menunjukkan bahwa pola aliran udara dan suhu dalam kemasan dipengaruhi oleh tipe ventilasi. Secara umum, hasil simulasi CFD dan pengukuran langsung menggambarkan bahwa suhu rata-rata dalam kemasan lebih tinggi dari suhu lingkungan baik untuk kondisi suhu ruang maupun suhu *cold storage*. Pola perubahan suhu di dalam kemasan untuk ventilasi lingkaran lebih menyebar dibanding dengan ventilasi oval dan campuran, terutama pada kondisi ruang. Adanya aliran udara bebas disekitar kemasan menjadi faktor mempercepat penyebaran suhu luar menuju dinding dalam kemasan. Pada kondisi ruang *cold storage*, penyebaran suhu pada kemasan berventilasi oval lebih baik dibanding dengan ventilasi lingkaran, yang ditunjukkan oleh suhu di dalam kemasan yang lebih rendah. Letak lubang yang menyebar di keempat dinding kemasan pada ventilasi tipe oval memberikan efek perubahan suhu lebih baik dibanding tipe ventilasi lingkaran yang lubang ventilasinya hanya ada di kedua sisi kemasan. Perlu dilakukan kajian lebih lanjut untuk kemasan berisi komoditas.

Kata kunci : ventilasi, kemasan, suhu, aliran udara, CFD

PENDAHULUAN

Kualitas produk pertanian pascapanen diupayakan untuk dipertahankan agar bernilai ekonomis. Upaya untuk mempertahankan kualitas tersebut salah satunya adalah dengan memberi perhatian pada penggunaan kemasan yang disesuaikan dengan karakteristik komoditasnya. Komoditas hortikultura segar adalah produk yang masih mengalami proses respirasi dengan hasil samping berupa panas dan gas CO₂. Ventilasi pada kemasan diperlukan untuk meminimalkan terjadinya akumulasi panas dan gas CO₂ dalam kemasan berisi komoditas.

Banyak tipe ventilasi yang beredar dipasar terutama pada kemasan buah-buahan impor. Tipe-tipe ventilasi yang dipilih diduga terkait dengan karakteristik komoditas. Berdasarkan pola respirasinya, ada dua karakteristik dasar dari komoditas yaitu klimaterik dan non klimaterik. Berdasarkan telaah tersebut maka diperlukan kajian pengaruh tipe-tipe ventilasi terhadap pola perubahan suhu dan aliran udara dalam kemasan. Hasil kajian diharapkan dapat digunakan sebagai referensi dalam pemilihan tipe ventilasi yang disesuaikan dengan komoditas yang akan dikemas.

Aliran udara dapat dianalisa dengan metode *Computational Fluid Dynamics* (CFD). Secara definisi, CFD adalah ilmu yang mempelajari cara memprediksi aliran fluida, perpindahan panas, reaksi kimia, dan fenomena lainnya dengan model matematika (Tuakia, 2008). Dengan demikian penggunaan CFD dapat membantu mengetahui keadaan fluida (aliran udara dan suhu) secara visual yang terdapat di dalam kemasan.

METODOLOGI

Bahan yang digunakan adalah kemasan berventilasi terbuat dari karton gelombang flute AB berdimensi 410 x 330 x 240 mm dengan tipe RSC. Spesifikasi kemasan disesuaikan dengan hasil penelitian dari Aspiani (2006) karena penelitian ini merupakan pengembangan dari hasil penelitiannya. Alat yang digunakan adalah *Thermocouple* tipe *Cover Constanta* (CC), *Chino Recorder Yokogawa* tipe 3058, *Hybrid Recorder*, *Hot Wire Anemometer*, Termometer Air Raksa, *Hygrometer Digital*, *Cold Storage*, *Personal Computer* (PC), software Gambit 2.2.30 dan Fluent 6.1.18.

Tipe ventilasi yang dikaji adalah oval, lingkaran, campuran dan tanpa ventilasi sebagai kontrol. Luasan total ventilasi adalah 3% dari luas seluruh permukaan kemasan (6 sisi). Parameter yang diukur adalah suhu, kecepatan udara dan RH. Pengukuran suhu dan kecepatan udara dilakukan di 18 titik (Lampiran 1), sedang RH hanya satu titik, pada kondisi suhu ruang dan suhu penyimpanan dingin (7-5°C). Analisa aliran udara dan suhu dalam kemasan dilakukan dengan metode CFD yang dibuat dalam dua skenario untuk ventilasi oval dan campuran sementara ventilasi lingkaran hanya satu skenario. Skenario dibuat berdasarkan asumsi posisi inlet dan outlet dari ventilasi. (Lampiran 1). Pindah panas di dalam kemasan didekati dengan persamaan konveksi alami, dengan persamaan koefisien konveksi sebagai berikut:

Koefisien pindah panas pada permukaan horizontal menghadap ke atas :

$$h = 0.596 \times 10^4 (\Delta T)^{1/4}$$

Koefisien pindah panas pada permukaan horizontal menghadap ke bawah

$$h = 0.314 \times 10^4 (\Delta T)^{1/4}$$

Koefisien pindah panas pada permukaan vertikal

$$h = 0.424 \times 10^4 (\Delta T)^{1/4}$$

Validasi model simulasi dilakukan dengan membandingkan antara hasil simulasi suhu dengan hasil pengukuran pada model kemasan. Perhitungan nilai *error* menggunakan persamaan *error* mutlak : $Error = |p_s - u_k|$

HASIL DAN PEMBAHASAN

A. ANALISA SUHU

Suhu merupakan faktor penting pada sistem kemasan produk hortikultura karena suhu mempengaruhi proses respirasi. Hasil pengukuran suhu yang dinyatakan dalam nilai rata-ratanya dari keempat perlakuan kemasan yang diteliti seperti pada Tabel 1.

Tabel 1 Suhu rata-rata hasil pengukuran pada kondisi ruang dan pendingin

Perlakuan Ventilasi	Ruang Terbuka (Lapang)			Ruang Pendingin		
	Lingkungan	Kemasan		Lingkungan	Kemasan	
		Dinding	Dalam		Dinding	Dalam
Ven.				3.6		
Lingkaran	30.4	30.6	30.3		6	5.9
Ven. Oval	30.3	30.5	30.4	3.2	6	5.3
Ven.				3.6		
Campuran	28.8	29.2	29.1		7	6.4
Tanpa Ventilasi				4		
	30.5	31.5	31.2		10.7	10

Keterangan : Suhu rata-rata dari jam 08:25 sampai jam 16.35

Pada Tabel 1 dapat dilihat bahwa secara umum, suhu dinding dan dalam kemasan lebih tinggi daripada suhu lingkungan, namun suhu dinding dan dalam kemasan tanpa ventilasi terlihat lebih tinggi dibanding suhu dalam kemasan yang diberi perlakuan

ventilasi. Hal ini mengindikasikan adanya pengaruh ventilasi terhadap suhu dalam kemasan.

Delta suhu antara suhu lingkungan dan suhu kemasan untuk kemasan yang diletakkan di ruang terbuka relatif kecil, sementara yang ada di ruang pendingin cukup besar. Penyebab kondisi tersebut diduga karena otomatisasi seting untuk suhu 5°C dilakukan dengan pergerakan suhu terendah 2°C dan tertinggi 7°C . Mekanisme pergerakan suhu dingin 2°C dari ruang pendingin belum mencapai bagian dalam kemasan telah meningkat menjadi 7°C . Hal tersebut berlangsung secara berulang selama proses pengukuran sehingga suhu yang terperangkap dalam kemasan mempunyai delta yang cukup tinggi terhadap suhu lingkungannya.

Proses pergerakan suhu dalam satu hari pengukuran mulai dari jam 8:25 sampai dengan jam 16.35 (Lampiran 2) untuk kemasan berventilasi yang diletakkan di ruang terbuka, menunjukkan bahwa terjadi akumulasi panas dalam kemasan pada sore hari. Pada pagi sampai siang hari pergerakan suhu dalam kemasan relative sama dengan suhu lingkungan, tetapi pada sore hari perbedaan suhu lingkungan dengan suhu kemasan meningkat. Bila kemasan berisi komoditas pertanian, diperkirakan akumulasi suhu yang terjadi pada sore hari tersebut akan memicu percepatan proses-proses metabolime bahan yang tentunya akan berakibat pada percepatan penurunan mutu dan masa simpan produk. Kondisi tersebut tentunya tidak diharapkan, oleh karena itu perlu ada tindakan pencegahan agar tidak terjadi akumulasi suhu tinggi dalam kemasan.

Dari ke tiga tipe ventilasi yang dikaji, tipe ventilasi lingkaran menunjukkan pergerakan suhu yang relative sama dengan suhu lingkungan, baik pagi, siang dan sore hari. Hal ini menginformasikan bahwa aliran udara dari dan ke dalam kemasan yang berventilasi lingkaran mudah bergerak sehingga perubahan suhu lingkungan direspon lebih cepat.

Pada awal pendinginan, kemasan yang dimasukkan ke ruang dingin masih membawa suhu ruang (lapang), sehingga terjadi proses penurunan yang cukup tajam. Waktu yang dibutuhkan untuk proses penurunan suhu dalam kemasan sampai mencapai kisaran suhu ruang pendingin, untuk ke tiga kemasan berventilasi hampir sama yaitu sekitar 17 menit. Setelah suhu kemasan mencapai suhu ruang pendingin, maka suhu dalam kemasan akan berfluktuasi pada kisaran suhu 2°C sampai 7°C sesuai dengan pengaturan suhu ruang pendingin (Lampiran 2). Pergerakan suhu dalam kemasan berventilasi lingkaran dan oval menunjukkan pergerakan yang relative sama dengan suhu ruang pendingin. Untuk ventilasi lingkaran, hasil ini menguatkan analisa sebelumnya yaitu bahwa pergerakan udara dalam kemasan berventilasi lingkaran lebih baik dibanding dengan ventilasi yang lainnya. Pada kondisi dingin, penggunaan ventilasi lingkaran dan oval pada kemasan memberikan efek perubahan suhu dalam kemasan yang relative sama. Suhu dalam kemasan berventilasi campuran dan tanpa ventilasi cukup tinggi perbedaannya dengan suhu lingkungan walaupun pola pergerakannya sama dengan suhu lingkungan.

Simulasi CFD dengan software Gambit dan Fluent, digunakan untuk menganalisa pola penyebaran suhu dalam ruang kemasan. Dengan menggunakan data hasil pengukuran langsung sebagai data input maka diperoleh simulasi penyebaran suhu di dalam ruang kemasan digambarkan dalam pola gradasi warna (Lampiran 3). Hasil simulasi tersebut memperkuat analisa sebelumnya terutama untuk ventilasi lingkaran. Pola perubahan suhu yang dinyatakan dalam degradasi warna menunjukkan bahwa suhu dalam ruang kemasan berventilasi lingkaran lebih cepat menyebar mengikuti suhu inputnya baik yang diletakkan di ruang terbuka atau di ruang pendingin. Hasil yang sama untuk tipe ventilasi yang lain. Hal ini memberikan petunjuk bahwa penggunaan CFD untuk mensimulasikan pergerakan suhu dalam kemasan mendekati kondisi nyata. Hasil uji

validasi menguatkan pernyataan tersebut, dengan kisaran nilai standar deviasi 0.052-0.42 °C untuk range suhu dalam kemasan sebesar 26 -30 °C, sedang nilai errornya berkisar 0.071-0.601. Hasil simulasi CFD untuk kemasan yang ada di dalam ruang pendingin perlu dikaji ulang karena nilai standar deviasinya cukup besar yaitu 0.05 – 0.7 °C untuk range suhu dalam kemasan sebesar 1.7 – 3.1 °C. Data input yang digunakan pada simulasi diduga menjadi penyebab tidak validnya hasil simulasi untuk kemasan pada ruang pendingin yaitu 2.7 °C untuk suhu lingkungan dan 2.6 °C untuk suhu dinding sementara suhu seting ruang pendingin adalah 5 °C. Walaupun hasil validasi kurang memuaskan tetapi bila dilihat pola pergerakan suhu bagian dalam kemasan pada masing-masing tipe ventilasi menunjukkan pola yang relatif sama dengan pola suhu kemasan yang diletakkan di suhu ruang terbuka (Lampiran 3).

B. ANALISA RH

Jumlah atau massa air yang bercampur dengan satu unit massa udara kering dalam gram, dari air yang menguap per kilogram udara kering disebut kelembaban relatif. Udara panas mengandung banyak embun dari pada udara sejuk dan jika jumlah embun konstan maka kelembaban relatif akan lebih rendah pada suhu tinggi dan sebaliknya akan tinggi pada suhu rendah (Esmay,1987).

Hasil pengukuran RH pada kemasan yang diletakkan di ruang terbuka (Tabel 2) menunjukkan hal yang sama dengan pernyataan tersebut, yaitu RH di dalam ruang kemasan relatif lebih rendah dibanding dengan RH lingkungan dikarenakan suhu dalam kemasan lebih tinggi. Pada ruang pendingin terlihat bahwa RH di ruang kemasan berventilasi lingkaran dan oval lebih besar dibanding dengan RH lingkungan padahal suhu rata-rata di dalam ruang kemasan lebih tinggi. Bila dilihat dari pola pergerakan suhu (Lampiran 2), maka kondisi tersebut dapat saja terjadi karena ada pergerakan suhu dalam kemasan lebih rendah beberapa saat dari suhu lingkungan yaitu pada saat suhu lingkungan mencapai titik seting bawah (2 °C) bergerak naik ke suhu seting atas (7 °C).

Tabel 2 Hasil pengukuran RH lingkungan dan didalam ruang kemasan .

Perlakuan	Ruang Terbuka		Ruang Pendingin	
	Lingkungan	Kemasan	Lingkungan	Kemasan
Ven Lingkaran	80.40	79.20	78.00	80.00
Ven Oval	80.60	80.27	78.00	80.40
Ven Campuran	80.40	80.00	82.00	79.10
Tanpa Vantilasi	82.70	80.50	82.70	80.50

Disamping suhu, RH juga berpengaruh terhadap reaksi metabolisme produk pertanian. RH yang rendah akan menyebabkan dehidrasi pada produk pertanian. Hal yang perlu diwaspadai adalah suhu tinggi dengan RH rendah. Kondisi ini akan memicu percepatan proses metabolisme seperti respirasi yang akan menurunkan mutu dan penurunan tersebut dipercepat lagi dengan hilangnya air bahan karena proses dehidrasi pada RH rendah. Oleh karena itu perlu dilakukan kajian lanjutan dengan kemasan yang berisi komoditas.

B. ANALISA ALIRAN UDARA

Udara yang mengalir dari lingkungan ke dalam kemasan atau dari dalam kemasan ke lingkungan, akan melewati ventilasi kemasan yang terdapat pada bagian dinding kemasan. Pergerakan udara dari lingkungan kedalam kemasan akan berpengaruh pada keadaan suhu dalam kemasan. Hasil pengukuran kecepatan aliran udara untuk masing-masing ventilasi dinyatakan pada Tabel 3 dengan kecepatan aliran udara inlet berkisar antara 0.19 – 0.27 meter/detik (m/s)

Tabel 3 Hasil pengukuran kecepatan aliran udara dalam kemasan yang diletakkan di ruang terbuka

	Kecepatan aliran udara (m/s)			
	Pagi	Siang	Sore	Rataan
Ven Lingkaran	0.02 - 0.04	0.04 - 0.08	0.02 - 0.07	0.037
Ven Oval	0.03 - 0.08	0.02 - 0.09	0.02 - 0.07	0.053
Ven Campuran	0.02 - 0.04	0.02 - 0.07	0.02 - 0.05	0.035

Ukuran lubang ventilasi berpengaruh terhadap pergerakan udara masuk dan keluar dari ruang kemasan. Pada luasan ventilasi yang sama (3% dari luas total permukaan kemasan), pada tipe ventilasi oval dibuat 6 lubang, pada tipe lingkaran dibuat 8 lubang dan pada ventilasi campuran dibuat 10 lubang. Selain disebabkan oleh ukuran lubang yang lebih besar, posisi lubang dalam kemasan juga terindikasi berpengaruh terhadap aliran udara. Empat lubang ventilasi oval yang diletakkan dibagian sisi panjang kemasan menghasilkan jarak antara lubang inlet dan outlet adalah 330 mm, sementara pada ventilasi lingkaran jarak lubang inlet dan outlet nya 410 mm. Pengaruh jarak berkombinasi dengan ukuran lubang inlet dan outlet ditunjukkan oleh ventilasi campuran. Jarak inlet dan outlet pada ventilasi campuran yang 240 mm seharusnya menghasilkan kecepatan aliran yang lebih besar dari ke dua ventilasi yang lain, tetapi nilai hasil pengukurannya paling kecil. Hal ini menunjukkan adanya pengaruh kombiansi ukuran dan jarak lubang ventilasi.

Hasil ini perlu dikaji lebih lanjut bila dikaitkan dengan pergerakan suhu di dalam ruang kemasan. Pergerakan suhu dalam ruang kemasan berventilasi lingkaran lebih cepat menyebar dibanding dengan ventilasi oval.

KESIMPULAN

1. secara umum, suhu dinding dan dalam kemasan lebih tinggi daripada suhu lingkungan, namun suhu dinding dan dalam kemasan tanpa ventilasi terlihat lebih tinggi dibanding suhu dalam kemasan yang diberi perlakuan ventilasi. Hal ini mengindikasikan adanya pengaruh ventilasi terhadap suhu dalam kemasan.
2. Penyebaran suhu dalam kemasan berventilasi lingkaran lebih cepat dibanding dengan ventilasi oval maupun campuran, namun dari hasil pengukuran suhu dan kecepatan aliran udara menunjukkan kemasan berventilasi oval lebih baik dari ke dua tipe ventilasi yang lain (lingkaran dan campuran).

SARAN

Dengan hasil penelitian ini perlu dikaji lebih lanjut pengaruh tipe ventilasi oval dan lingkaran dengan kemasan berisi komoditas, dikarenakan adanya perbedaan suhu dan pola penyebarannya pada ke dua tipe tersebut mengingat perubahan suhu sangat dominan pengaruhnya terhadap proses-proses metabolisme produk pertanian.

PUSTAKA

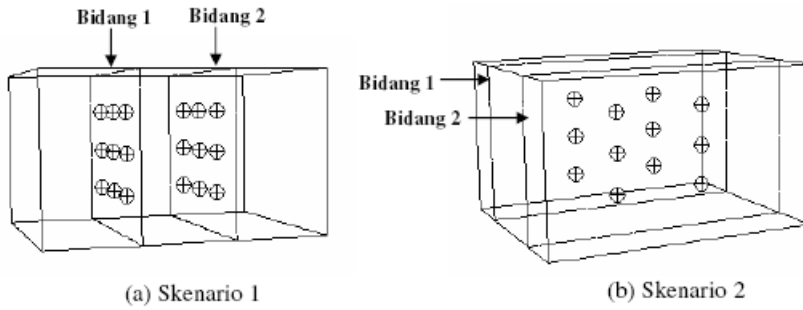
- Aspihani, Hilalliyah. 2006. Kajian Pengaruh Tipe Kemasan, Bahan Kemasan, dan Penggunaan Ventilasi Terhadap Kekuatan Kemasan Peti Karton (*Corrugated Box*) Untuk Distribusi. Skripsi. Fakultas Teknologi Pertanian, IPB. Bogor.
- Hidayat, Sofyan. 2006. Analisis Pola Aliran Udara pada *Single Span Greenhouse* Di Cikabayan Dengan Menggunakan Teknik *Computational Fluid Dynamic*(CFD). Skripsi. Fakultas Teknologi Pertanian, IPB. Bogor.

Nugraha, I. B. 2005. Simulasi Pola Aliran Udara, RH dan Suhu Ruang Pengering dengan Teknik *Computational Fluid Dynamics* (CFD) pada Proses Pengeringan Mahkota Dewa (*Phaleria macrocarpha* (Scheff.) Boerl.). Skripsi. Departemen Teknik Pertanian, IPB. Bogor.

Tuakia, Firman. 2008. Dasar-dasar CFD Menggunakan Fluent. Informatika Bandung. Bandung.

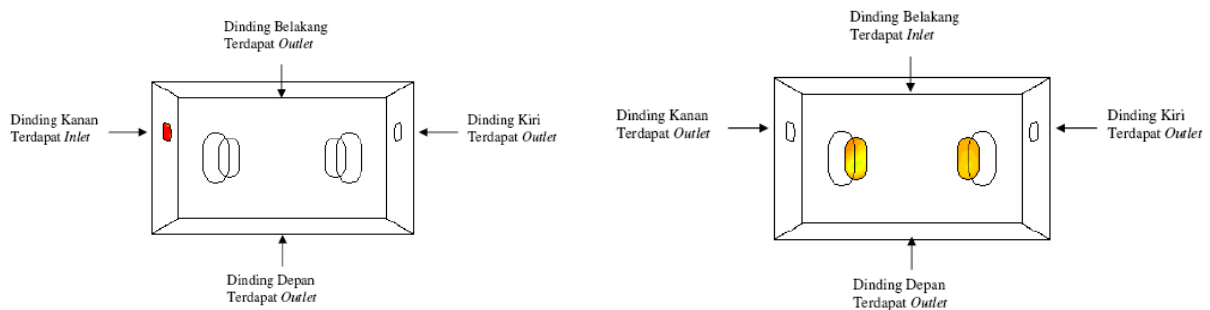
Lampiran 1:

A. Posisi titik pengukuran suhu dan kecepatan angin di dalam kemasan

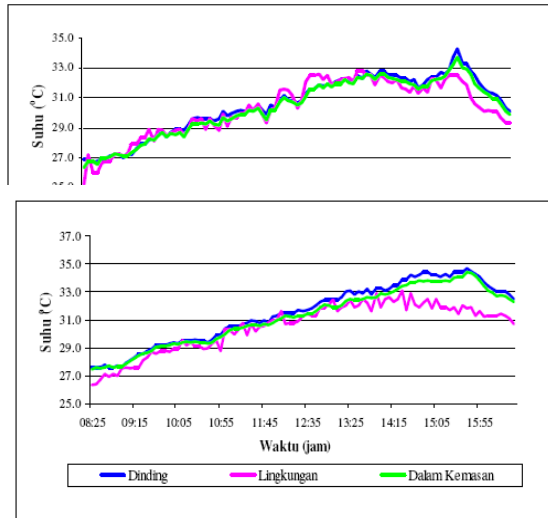
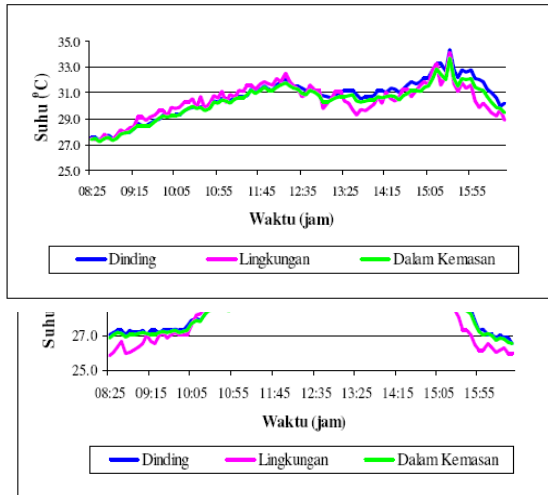


Bidang	Skenario 1				Bidang	Skenario 2			
	Titik	X	Y	Z		Titik	X	Y	Z
1	1	136.67	180.00	82.50	1	1	273.33	180.00	82.50
	2	136.67	180.00	165.00		2	136.67	180.00	82.50
	3	136.67	180.00	247.50		3	273.33	120.00	82.50
	4	136.67	120.00	82.50		4	136.67	120.00	82.50
	5	136.67	120.00	165.00		5	273.33	60.00	82.50
	6	136.67	120.00	247.50		6	136.67	60.00	82.50
	7	136.67	60.00	82.50		-	-	-	-
	8	136.67	60.00	165.00		-	-	-	-
	9	136.67	60.00	247.50		-	-	-	-
2	10	273.33	180.00	82.50	2	7	273.33	180.00	247.50
	11	273.33	180.00	165.00		8	136.67	180.00	247.50
	12	273.33	180.00	247.50		9	273.33	120.00	247.50
	13	273.33	120.00	82.50		10	136.67	120.00	247.50
	14	273.33	120.00	165.00		11	273.33	60.00	247.50
	15	273.33	120.00	247.50		12	136.67	60.00	247.50
	16	273.33	60.00	82.50		-	-	-	-
	17	273.33	60.00	165.00		-	-	-	-
	18	273.33	60.00	247.50		-	-	-	-

B. Geometri model kemasan untuk simulasi menggunakan CFD

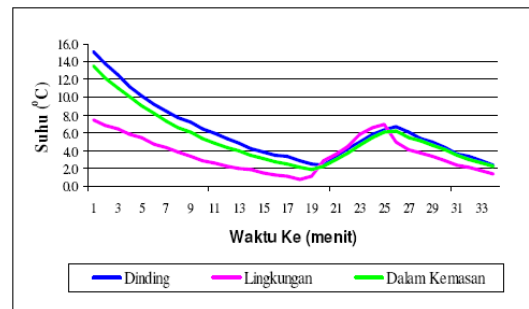
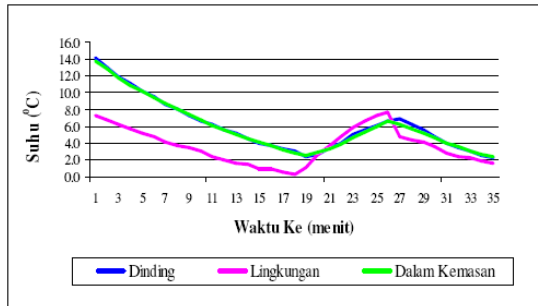


Lampiran 2: Pola perubahan suhu pada ke empat kemasan
A. Kemasan diletakkan di ruang terbuka

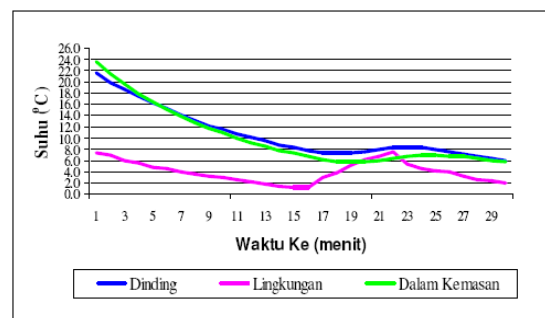
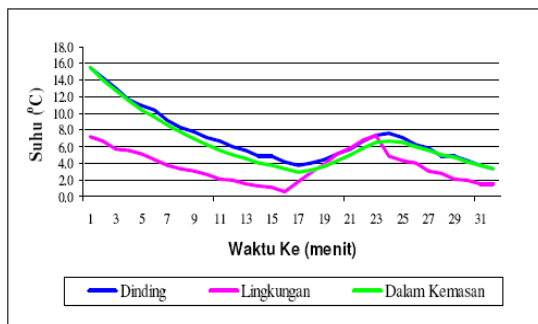


Kemasan Ventilasi Campuran

B. Kemasan diletakkan di ruang pendingin



Kemasan Ventilasi Lingkaran

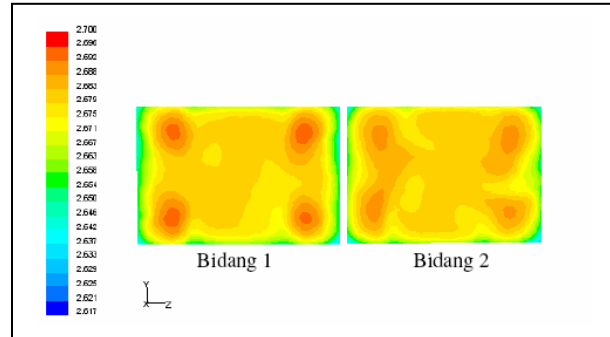
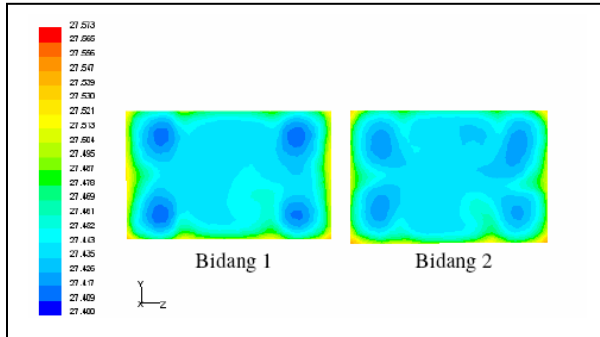


Kemasan Ventilasi Campuran

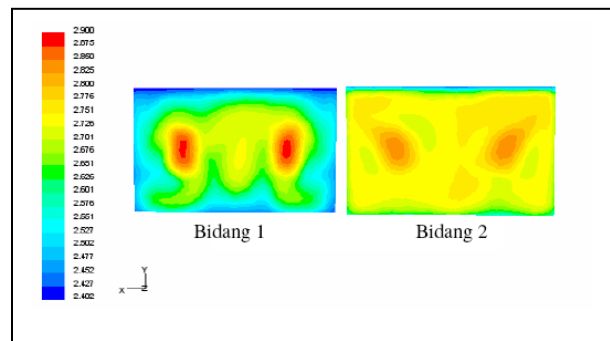
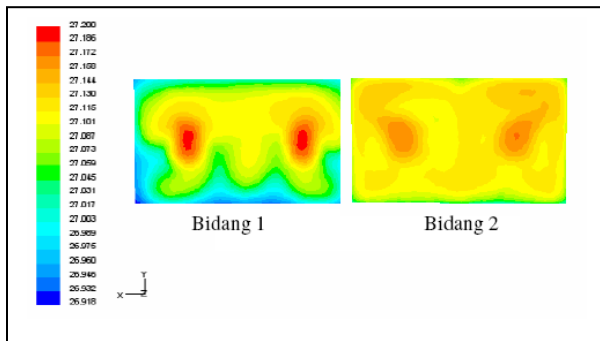
Kemasan Tanpa Ventilasi

Lampiran 3. Hasil simulasi CFD untuk pola penyebaran suhu dalam ruang kemasan

a. Ventilasi Lingkaran



b. Ventilasi Oval



c. Ventilasi Campuran

