Media Peternakan, Desember 2007, hlm. 218-228 Vol. 30 No. 3
ISSN 0126-0472
Terakreditasi SK Dikti No: 56/DIKTI/Kep/2005

Analisis dan Simulasi Distribusi Suhu Udara pada Kandang Sapi Perah Menggunakan *Computational Fluid Dynamics* (CFD)

A. Yani[a], H. Suhardiyanto[b], R. Hasbullah[b] & B.P. Purwanto[a]
[a]Departemen Ilmu Produksi dan Teknologi Peternakan,
Fakultas Peternakan, Institut Pertanian Bogor
Jl. Agatis Kampus IPB Darmaga Bogor 16680, e-mail : a_yanicirebon@yahoo.co.id
[b]Departemen Teknik Pertanian, Fakultas Teknologi Pertanian, Institut Pertanian Bogor
(Diterima 20-07-2007; disetujui 04-10-2007)

ABSTRACT

This experiment was conducted to analyze the temperature and relative humidity distribution in dairy barn of Friesian Holstein (FH) using *computational fluid dynamics* (CFD) as a basic consideration for dairy barn design. The capacity of the dairy barn was 20 heads of FH with tail to tail model. The dimensions of the dairy barn were: 13 m in length, 6.3 m in width, and 5.75 m in height. The floor was made from concrete with 2^{o} slope. Asbestos was used as roof of the dairy barn, whereas frame of the dairy barn was made from steel. The results of the analysis showed that during the daytime, air temperature inside the dairy barn increased by the height from floor level. The CFD simulation showed clearly the temperature distribution in the dairy barn. Air temperature obtained from CFD simulation was in line with that of the measured values. Therefore, it can be used as basic consideration for the dairy barn design with respect to low air temperature and uniform air temperature distribution. It was recommended that one of the best design configurations is 6.25 m high, 8.3 m wide, 0.4 m high of wall. The best design could decrease 0.474 ^{o}C of air temperature and increased dry matter intake of dairy cattle 0.403 kg per day per head. The amount of heat production of FH was considered to determine the best design of dairy barn.

Key words: dairy barn design, air temperature distribution,computational fluid dynamics (CFD)

PENDAHULUAN

Sapi bangsa *Friesian Holstein* (FH) yang ada di Indonesia didatangkan dari negara-negara Eropa yang memiliki iklim sedang (temperate) dengan kisaran suhu rendah berkisar 5-25^{o}C (Jones & Stallings, 1999) sehingga sangat peka terhadap perubahan iklim mikro (suhu dan kelembaban udara). Apabila sapi FH ditempatkan pada lokasi yang memiliki suhu tinggi dan kelembaban udara yang tidak mendukung maka sapi tersebut akan mengalami cekaman panas yang berakibat pada menurunnya produktivitas sehingga potensi genetiknya tidak dapat tampil secara optimal.

Suhu udara di Indonesia pada umumnya tinggi yaitu antara 24 – 34^{o}C, dengan kelembaban udara juga tinggi yaitu antara 60% - 90%, disebabkan oleh radiasi matahari yang tinggi. Selain radiasi, produksi panas hewan yang berupa panas laten dan panas sensible, tinggi, luas, bahan atap dan bukaan ventilasi yang kurang tepat merupakan penyebab naiknya suhu dan kelembaban udara dalam kandang sapi perah. Salah satu upaya untuk menurunkan suhu dan kelembaban udara di dalam kandang yaitu dengan sistem ventilasi agar terjadi pertukaran udara di dalam dan luar kandang dengan baik sehingga panas dalam kandang dapat diminimalisir. Luas bukaan ventilasi sangat mempengaruhi pola aliran dan distribusi udara dalam kandang sehingga diperlukan analisis sifat dan pola aliran serta distribusi suhu udara dalam kandang.

Pemecahan analisis aliran udara dalam kandang dapat dilakukan dengan *Computational Fluid Dynamics* (CFD). Metode CFD menggunakan analisis numerik yaitu kontrol volume sebagai elemen dari integrasi persamaan-persamaan yang terdiri atas persamaan keseimbangan massa, momentum dan energi, sehingga penyelesaian persamaan untuk benda 2 (dua) atau 3 (tiga) dimensi lebih cepat dan dapat dilakukan secara simultan (Versteeg & Malalasekera, 1995). Tinggi dan lebar kandang, luas bukaan ventilasi kandang dapat diubah-ubah di dalam program simulasi untuk memperoleh distribusi suhu dan kelembaban udara yang lebih rendah dalam kandang sehingga biaya disain konstruksi kandang dapat dihemat dan tidak dilakukan dengan cara *trial & error*. Melalui teknik CFD dapat ditentukan disain kandang dengan tinggi, lebar, luas bukaan ventilasi kandang yang tepat sehingga diperoleh distribusi suhu dalam kandang yang lebih rendah dari kondisi awal (sebelum dilakukan simulasi).

Tujuan penelitian ini adalah : 1) menganalisis distribusi suhu udara pada kandang sapi perah FH di daerah beriklim tropika basah menggunakan *Computational Fluid Dynamics* (CFD); 2) melakukan simulasi tinggi dan luas kandang sapi perah FH (dua arah angin) untuk mendapatkan distribusi suhu udara dalam kandang sapi perah FH yang lebih baik; 3) merekomendasikan disain kandang yang lebih baik bagi sapi perah FH di daerah beriklim tropika basah (tinggi, luas, bukaan ventilasi kandang dan posisi penampung air).

MATERI DAN METODE

Penelitian dilaksanakan pada musim kemarau yaitu bulan Mei sampai Juli 2007 berlokasi di Laboratorium Lapangan Bagian Ternak Perah, Fakultas Peternakan, IPB. Bahan yang digunakan adalah kandang sapi perah FH, sapi perah FH, konsentrat, hijauan, air minum, tambang dan bambu. Kandang sapi perah FH berkapasitas 20 ekor dengan model kandang *tail to tail* dan memiliki ukuran: panjang 13 m, lebar 6,3 m dan tinggi 5,75 m. Lantai kandang terbuat dari semen beton dengan kemiringan 2%, atap menggunakan asbes, rangka menggunakan besi, tempat pakan dan minum terbuat dari beton. Sapi perah yang digunakan adalah sapi perah peranakan *Friesian Holstein* (FH) sebanyak 20 ekor dengan bobot badan berkisar 185 – 645 kg. Peralatan yang digunakan meliputi *weather station*, termokopel, *recorder*, *anemometer*, termometer, *pyranometer*, mistar ukur, timbangan sapi, *note book* dan *personal computer* (PC) dengan *software Autocad 2005, Gambit 2.2.30* dan *Fluent 6.2*.

Koefisien Konveksi pada Kandang Sapi Perah FH

Koefisien pindah panas konveksi (h) pada material penyusun kandang (atap, lantai, dinding tegak) merupakan sifat termal bahan yang sangat diperlukan sebagai input data dalam *solver*. Koefisien pindah panas konveksi pada kandang sapi perah didekati dengan persamaan konveksi alami tanpa pengendalian mekanis. Koefisien pindah panas konveksi pada dinding tegak dan atap untuk konveksi alami dihitung menggunakan rumus (Cengel, 2003) sebagai berikut:

$$h = Nu \frac{\dot{k}}{L} \quad \text{....................................} \ (1)$$

$$Nu = \left\{ 0{,}825 + \frac{0{,}387 Ra_L^{1/6}}{\left[1 + \left(0{,}492/\Pr\right)^{9/16}\right]^{8/27}} \right\}^2 \quad \text{........ (2)}$$

dimana:

h = koefisien pindah panas konveksi (W/ m^2 °C)

k = konduktivitas panas bahan (W/m°C)

L = panjang karakteristik (m)

Nu = bilangan *Nusselt*

Pr = bilangan *Prandtl*

Ra_L = bilangan *Releigh*

$$Ra_L = Gr_L \Pr = \frac{g\beta(T_s - T_\infty)L^3}{\nu^2}\Pr \quad \text{....... (3)}$$

dimana:

β = koefisien ekspansi dari volume gas ideal (1/ °K)

υ = viskositas kinematik udara (m^2/det)

g = gaya gravitasi (m/det^2)

Gr_L = bilangan *Grashoff*

T_s = suhu permukaan bahan (°C)

T_∞ = suhu udara pada jarak tertentu dari permukan bahan (°C)

Bilangan *Grashof* untuk atap kandang sapi perah FH dengan kemiringan (20°) dirumuskan sebagai berikut (Cengel, 2003) :

$$Gr_L = \frac{g\cos\theta\beta(T_s - T_\infty)L^3}{\nu^2} \quad \text{, untuk } Ra_L < 10^9 \text{ .. (4)}$$

dimana:

θ = sudut kemiringan bidang (°)

Bilangan *Nusselt* untuk lantai dirumuskan sebagai berikut (Cengel, 2003):

$$Nu = 0{,}54 Ra_L^{1/4} \quad \text{, untuk } 10^4 < Ra_L < 10^7 \text{ .... (5)}$$

$$Nu = 0{,}15 Ra_L^{1/3} \quad \text{,untuk } 10^7 < Ra_L < 10^{11} \text{ .... (6)}$$

Koefisien Konveksi pada Kulit Sapi Perah

Ternak akan memproduksi panas dalam tubuhnya yang sangat dipengaruhi oleh *feed intake* dan aktivitasnya. *Feed intake* pada ternak dinyatakan dalam *total digestible nutrient* (TDN) yang menunjukkan total bahan pakan yang dapat dicerna oleh ternak. Panas yang diproduksi ternak akan dilepas melalui mekanisme *evaporative heat loss* dengan jalan melakukan pertukaran panas pada kulit atau saluran pernapasan dan sebagian melalui feses dan urin (Purwanto, 1993). Pelepasan panas ternak ke lingkungan melalui kulit menunjukkan bahwa ternak merupakan salah satu sumber panas dalam kandang. Material yang menjadi sumber panas dapat dianalogikan sebagai radiator di dalam teknik simulasi menggunakan CFD.

Persamaan koefisien pindah panas konveksi (h) pada kulit sapi perah FH (radiator) didekati dengan persamaan koefisien pindah panas konveksi secara umum dan dirumuskan sebagai berikut (Cengel, 2003):

$$h = \frac{Q}{A(T_s - T_\infty)} \quad \text{.......................... (7)}$$

dimana :

Q = besarnya panas yang dipindahkan oleh kulit sapi perah FH (W)

A = luas kulit sapi perah FH (m^2)

T_s = suhu kulit sapi perah FH (°C)

T_∞ = suhu udara pada jarak tertentu dari kulit sapi perah FH (°C)

Besarnya panas yang dipindahkan dari tubuh ternak (sapi perah FH) tergantung dari produksi panas yang dihasilkan oleh ternak (Purwanto *et al.*,1993) seperti terlihat pada Tabel 1.

Pengukuran Luas Permukaan dan Suhu Kulit Sapi Perah FH

Luas permukaan kulit sapi perah FH sebagai area *heat transfer* merupakan fungsi dari bobot badan sapi. Semakin besar bobot badan sapi, semakin besar luas permukaan kulitnya dan dapat dirumuskan sebagai berikut (Esmay & Dixon, 1986):

$$A_s = 0{,}21\ W^{0{,}48} \quad \text{.............. (8)}$$

dimana :

A_s = luas permukaan kulit sapi perah FH (m^2)

W = bobot tubuh sapi FH (kg)

Tabel 1. Total produksi panas (kJ/kg.mbs.jam) yang dihasilkan sapi perah FH pada berbagai tingkat konsumsi pakan (feed intake)

Kondisi ternak	Konsumsi pakan		
	Rendah	Menengah	Tinggi
	(TDN 43,5 g/kg.mbs)	(TDN 58,0 g/kg.mbs)	(TDN 72,5 g/kg.mbs)
Berdiri	25,48	29,87	33,90
Berbaring	21,07	25,19	28,53

TDN: *total digestible nutrient*,
kg.mbs : kilogram.*metabolic body size* (bobot badan ^{0,75})

Suhu kulit sapi diukur menggunakan termokopel di empat tempat pengukuran pada tiap sapi FH, yaitu punggung, dada, tungkai atas dan tungkai bawah. Suhu kulit sapi FH dihitung melalui persamaan yang dikembangkan oleh McLean *et al*. (1983) sebagai berikut :

$$mTs = 0,25\ (a + b) + 0,32\ c + 0,18\ d \quad \ldots\ldots (9)$$

dimana :
mTs = suhu kulit sapi perah FH (^oC)
a = suhu kulit bagian punggung (^oC)
b = suhu kulit bagian dada (^oC)
c = suhu kulit bagian tungkai atas (^oC)
d = suhu kulit bagian tungkai bawah (^oC)

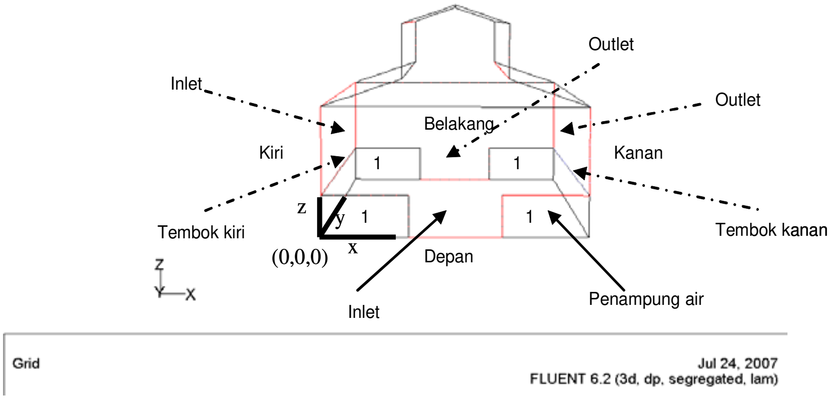
Pengukuran Parameter Iklim Mikro

Parameter iklim mikro yang diukur adalah suhu, arah dan kecepatan angin serta radiasi matahari. Parameter iklim mikro di luar kandang diukur menggunakan *weather station*, diletakkan 6 m di sebelah kanan kandang, sedangkan di dalam kandang diukur menggunakan termokopel, *recorder* dan *anemometer*. Radiasi matahari yang diukur adalah radiasi matahari sesaat yang diterima oleh atap kandang. Nilai hasil pengukuran *weather station* terbaca dan tersimpan dalam *note book* dengan selang pengukuran 20 menit. Termokopel sebagai sensor suhu sebanyak 32 unit dipasang pada atap kanan dan kiri (masing-masing 1 unit), lantai pada kedalaman 0,2 m (2 unit), tembok kanan dan kiri (masing-masing 1 unit), bak air (1 unit), tembok atas (1 unit), di dalam kandang (24 unit) pada ketinggian (sumbu z) 0,6 m, 1,2 m dan 1,6 m. Termokopel diletakkan pada arah horizontal (sumbu x) dengan jarak 1,2 dan 3,2 m pada tiap-tiap ketinggian, sedangkan pada arah sumbu y, termokopel diletakkan pada jarak 1,6, 2,7, 3,8 dan 6,0 m. Termokopel dihubungkan dengan *recorder* untuk menampilkan suhu yang terukur dan diset pada selang 20 menit untuk setiap kali pengukuran dari pukul 06:00-18:00 WIB. Bentuk geometri kandang sapi perah FH terdapat pada Gambar 1.

Simulasi dan Validasi

Simulasi menggunakan CFD dilakukan dengan cara mengubah-ubah dimensi kandang sapi perah FH seperti lebar dan tinggi kandang, bukaan ventilasi kandang. Simulasi dilakukan pada saat cuaca cerah di musim kemarau (16 Juni 2007) pada siang hari (pukul 13:00 WIB), pada waktu tersebut radiasi matahari dan suhu udara lingkungan mencapai puncaknya sehingga menjadi situasi yang kritis bagi sapi perah FH. Skenario yang digunakan dalam simulasi adalah sebagai berikut : 1) simulasi melibatkan 20 ekor sapi perah FH yang diletakkan secara proporsi dalam kandang ; 2) penampung air ditiadakan dari posisi awal; 3) dinding kanan dan kiri diturunkan menjadi 0,4 m; 4) tinggi atap diturunkan 0,5 m, tetap dan dinaikkan 0,5 m (T1=5,25 m; T2=5,75 m dan T3=6,25 m); 5) lebar kandang tetap, dinaikkan 1 dan 2 m (L1=6,3 m; L2=7,3 m dan L3=8,3 m) sehingga terdapat 9 (sembilan) disain kandang simulasi. Tujuan diturunkan dan dinaikkan tinggi dan lebar kandang adalah untuk melihat fenomena distribusi suhu dalam kandang yang dikaitkan dengan luas bukaan ventilasi. Diagram alir proses simulasi dengan CFD terdapat pada Gambar 2.

Asumsi yang digunakan dalam simulasi adalah: 1) udara bergerak dalam kondisi *steady*; 2) aliran udara dianggap laminer; 3) udara tidak terkompresi, ρ konstan; 4) panas jenis,

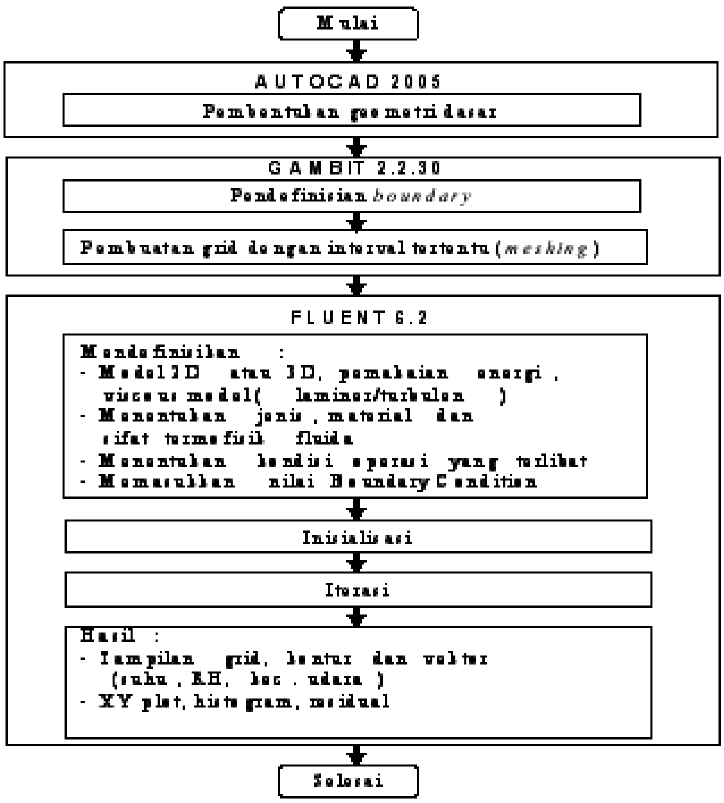


Gambar 1. Bentuk geometri kandang sapi perah FH

konduktivitas dan viskositas udara konstan (bilangan *Prandtl* udara konstan); 5) udara lingkungan dianggap konstan selama simulasi.

Validasi dilakukan untuk membandingkan antara hasil pengukuran dengan hasil simulasi menggunakan CFD pada titik-titik tertentu yang diinginkan. Besarnya error dalam validasi dihitung menggunakan rumus:

$$Error(\%) = \left[\left(\frac{p-u}{p} \right) x100\% \right] \quad \text{....................} (10)$$



Gambar 2. Diagram alir proses simulasi menggunakan CFD

dimana :
p = nilai suhu udara hasil simulasi (°C)
u = nilai suhu udara hasil pengukuran (°C)

HASIL DAN PEMBAHASAN

Analisis distribusi suhu udara dilakukan pada saat kandang tidak diisi sapi dan data yang digunakan adalah hasil pengukuran tanggal 16 Juni 2007 yang dipilih mewakili cuaca cerah pada musim kemarau. Pemilihan waktu untuk analisis distribusi suhu udara dilakukan berdasarkan kondisi kecepatan angin dan suhu udara lingkungan yang relatif stabil pada waktu tertentu (± 30 detik) sehingga diperoleh aliran udara yang laminer dalam kandang dengan bilangan *Reynolds* yang lebih rendah dari 500.000 (Cengel, 2003). Bilangan *Reynolds* pada pukul 09:20 (pagi), 13:00 (siang) dan 15:20 WIB (sore) masing-masing sebesar 491.572, 474.149 dan 471.915.

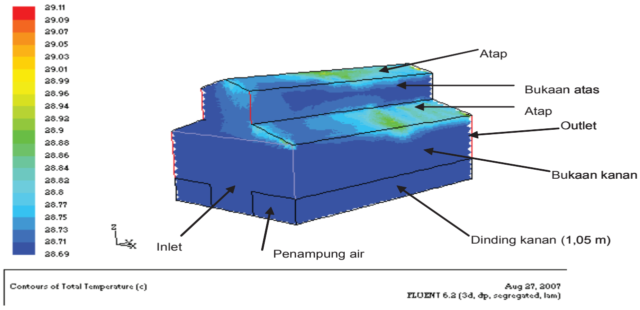
Radiasi matahari pada pukul 09:20, 13:00 dan 15:20 WIB masing-masing sebesar 396,04 Watt/m^2, 506, 57 Watt/m^2 dan 317,32 Watt/m^2. Kecepatan dan arah angin pada pukul 09:20, 13:00 dan 15:20 WIB masing-masing sebesar 1,0 m/det dari arah depan kandang, 0,7 m/det dari arah kiri kandang dan 1,0 m/det dari arah depan kandang. Suhu udara lingkungan pada pukul 09:20, 13:00 dan 15:20 WIB masing-masing sebesar 28,8; 32,52 dan 31,8°C.

Analisis distribusi suhu udara dalam kandang dilakukan pada ketinggian 0,6 (posisi sapi berbaring); 1,2 dan 1,6 m (posisi sapi berdiri) dari lantai kandang. Simulasi menggunakan CFD, material penyusun kandang seperti atap, dinding, lantai, penutup atas dianggap sebagai *wall*. *Inlet* merupakan bukaan ventilasi kandang yang tergantung dari arah angin. Saat arah angin (inlet) berasal dari depan bangunan kandang, maka *outlet*-nya adalah bagian bukaan ventilasi yang berada di sebelah kiri, kanan, belakang dan atas (atap). Saat angin berasal dari kanan kandang (inlet), *outlet* berada pada bagian bukaan ventilasi sebelah kiri, depan, belakang dan atas kandang.

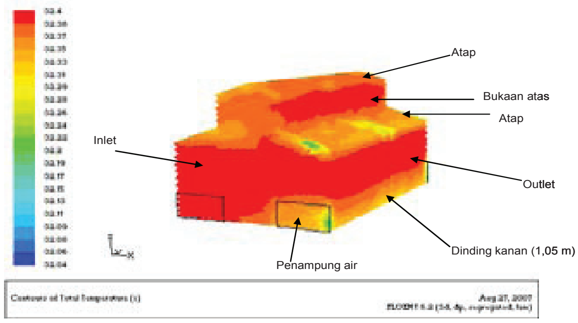
Suhu udara dalam kandang memiliki kecenderungan meningkat dari posisi dekat lantai menuju posisi dekat atap karena panas matahari yang diterima atap pada pukul 09:20 WIB dihantarkan ke dalam kandang sehingga semakin dekat dengan atap suhu udara semakin tinggi. Tingginya suhu udara di bagian atap menyebabkan tekanan udara di sekitar atap meningkat dan dengan nilai koefisien tekanan negatif pada bukaan atas, udara terdorong ke luar melalui bukaan atas

Tabel 2 Suhu udara dalam kandang sapi perah FH hasil analisis CFD

Ketinggian z (m)	Nilai	Suhu udara (°C)		
		9:20 WIB	13:00 WIB	15:20 WIB
0,6	Minimum	28,65	32,37	32,20
	Maksimum	28,70	32,65	32,44
	Rata-rata	28,69	32,57	32,37
	Koefisien variasi (%)	0,0244	0,0649	0,1382
1,2	Minimum	28,68	32,52	32,33
	Maksimum	28,70	32,65	32,40
	Rata-rata	28,69	32,61	32,38
	Koefisien variasi (%)	0,0105	0,0000	0,0675
1,6	Minimum	28,68	32,55	32,36
	Maksimum	28,70	32,65	32,39
	Rata-rata	28,69	32,63	32,38
	Koefisien variasi (%)	0,0070	0,0124	0,0460



Gambar 3. Sebaran suhu udara dalam kandang pada pukul 09:20 WIB (16 Juni 2007)



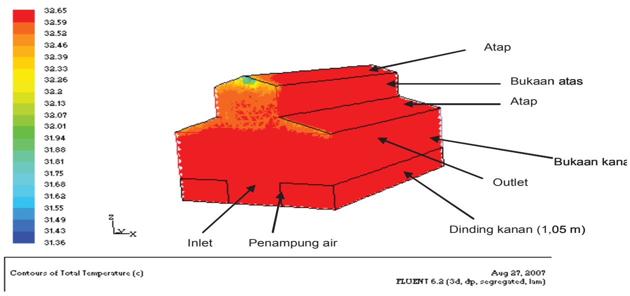
Gambar 4. Sebaran suhu udara dalam kandang pada pukul 13:00 WIB (16 Juni 2007)

membawa udara panas dari sekitar atap dan dalam kandang (Gambar 3). Suhu udara dalam kandang di tiga ketinggian (z=0,6; 1,2 & 1,6 m) lebih rendah dari pada suhu udara lingkungan, karena radiasi matahari yang diterima atap dan konveksi panas dari material penyusun yang dihantarkan masih rendah (Tabel 2). Berdasarkan Tabel 2 dapat dilihat bahwa dengan suhu udara lingkungan yang masuk sebesar 28,8°C, suhu udara dalam kandang pada ketinggian 0,6, 1,2 dan 1,6 m paling tinggi sebesar 28,7°C. Dengan kecepatan angin sebesar 1,0 m/detik dari depan kandang, daerah yang lebih rendah temperaturnya berada di dekat *inlet*, semakin jauh dengan *inlet* temperaturnya semakin tinggi.

Udara yang masuk ke kandang pada ketinggian 0,6 m terhalang oleh bak penampung air di kanan dan kiri *inlet* (1,05 m), menyebabkan udara yang masuk tidak dapat keluar melalui *outlet* sebelah kanan dan kiri sehingga *outlet* belakang memiliki temperatur yang paling tinggi. Ketinggian kandang 1,2 dan 1,6 m, udara lingkungan dapat masuk melalui *inlet* depan, *outlet* kanan dan kiri juga dapat berperan sebagai *inlet* karena perbedaan suhu udara di dalam dan luar kandang menyebabkan arah gerakan angin sehingga mendorong angin yang berada di sekitar *outlet* kanan dan kiri masuk ke dalam kandang menuju *outlet* belakang.

Siang hari (pukul 13:00 WIB) dan sore hari (pukul 15:20 WIB) ketika komponen penyusun kandang (atap, lantai, dinding dan rangka) telah menyimpan dan menghantarkan panas, suhu udara dalam kandang (Tabel 2) lebih tinggi dari suhu lingkungan (32,52°C) dan terdistribusi hampir merata di bagian *inlet* dan *outlet* (Gambar 4). Gambar 4 menyatakan bahwa suhu udara terendah berada di dekat dinding kanan (bawah outlet) pada ketinggian kurang dari 1,05 m yang disebabkan udara lingkungan yang masuk melalui *inlet* (bukaan kiri) langsung menuju *outlet* (bukaan sebelah kanan). Akibat terhalangi tembok (1,05 m) yang berada di bukaan kanan, udara dibelokkan kembali ke tengah, bukaan kiri dan atas untuk diteruskan ke *outlet*.

Pukul 13:00 WIB, di ketinggian (z=0,6 m) dengan kecepatan angin sebesar 0,7 m/detik dari arah kiri kandang (inlet), bukaan *outlet* di depan dan belakang kandang berfungsi dengan baik, sedangkan pada bukaan sebelah kanan karena terhalangi tembok (1,05 m) udara berubah arah ke bukaan depan dan belakang serta berbalik ke arah



Gambar 5. Sebaran suhu udara dalam kandang pada pukul 15:20 WIB (16 Juni 2007)

tembok kiri. Kondisi ini menyebabkan suhu udara tertinggi berada pada daerah dekat tembok kiri (inlet). Tingginya suhu udara di daerah dekat *inlet* dipengaruhi oleh panas yang dipancarkan atap dan tembok sebelah kanan yang dibawa oleh gerakan angin yang berputar menuju *inlet* sehingga luas bukaan ventilasi menjadi faktor yang cukup penting pada perhitungan distribusi udara di dalam kandang selain faktor kecepatan angin dan tekanan udara. Bukaan ventilasi yang berperan pada z=1,2 dan 1,6 m sebagai *outlet* adalah bukaan bagian kanan, karena udara dapat bergerak tanpa halangan (tembok).

Pukul 15:20 WIB, dengan kecepatan angin 1,00 m/detik dan arah (inlet) dari depan kandang, suhu udara dalam kandang terdistribusi merata di bagian *inlet* dan *outlet*. Sebaran udara dalam kandang pada pukul 15:20 WIB disajikan pada Gambar 5. Berdasarkan Gambar 5 dapat dilihat bahwa suhu udara terendah berada di dekat atap sebelah depan karena tidak terkena radiasi matahari. pada pukul 15:20 WIB, suhu material penyusun kandang (atap, tembok, lantai, penampung air) lebih tinggi dari suhu udara lingkungan menyebabkan kandang menjadi panas akibat panas yang dikonveksikan oleh material penyusun bahan kandang ke dalam kandang sehingga suhu di dalam kandang tersebar secara merata. Suhu bagian atap hampir sama dengan suhu pada semua bagian di dalam kandang yang menunjukkan bahwa proses pemanasan yang relatif kecil dalam kandang terjadi secara merata pada daerah sekitar material penyusun kandang (lantai, dinding kanan/kiri, penampung air dan atap).

Pukul 15:20 WIB, dengan arah angin (inlet) dari depan kandang, bukaan *outlet* di belakang kandang berfungsi dengan baik (pada z=0,6 m), sedangkan pada bukaan sebelah kanan dan kiri udara yang dibawa angin terhalangi tembok (1,05 m). Suhu udara terendah berada di sebelah kanan dan kiri bukaan, tertinggi berada di tengah kandang. Bukaan ventilasi yang berperan sebagai *outlet* pada z=1,2 dan 1,6 m adalah bukaan bagian kanan, kiri dan belakang. Distribusi suhu udara pada z=1,2 dan z=1,6 m tersebar merata di seluruh bidang pada kandang yang sangat dipengaruhi oleh efek termal yang ditimbulkan oleh radiasi matahari dan material bahan penyusun kandang yang mengeluarkan panas. Kondisi ini dapat dilihat dari berperannya bukaan ventilasi sebelah kanan, kiri dan belakang sebagai *outlet* yang menunjukkan bahwa tekanan udara dalam kandang (pada arah kanan, kiri dan belakang) lebih tinggi dari tekanan udara luar kandang.

Berdasarkan hasil analisis di atas, distribusi suhu udara dalam kandang sapi perah FH (tanggal 16 Juni 2007) pada pukul 09:20, 13:00 dan 15:20 WIB dengan suhu udara pada ketinggian 0,6, 1,2 dan 1,6 m masing-masing sebesar 28,7^{o}C, 32,65^{o}C, dan 32,44^{o}C menyebabkan sapi perah dalam kondisi stress sedang (Wierema, 1990). Stres tersebut akan menurunkan produktivitas sapi perah FH yang diindikasikan dengan: 1) penurunan nafsu makan; 2) peningkatan konsumsi minum; 3) penurunan metabolisme dan peningkatan katabolisme; 4) peningkatan pelepasan panas melalui penguapan; 5) penurunan konsentrasi hormon; 6) peningkatan temperatur tubuh, respirasi dan denyut jantung; 7) perubahan tingkah laku; 8) meningkatkan intensitas berteduh sapi (Combs, 1996). Pengurangan tingkat stres pada sapi perah FH dapat dilakukan melalui modifikasi disain kandang dengan cara mengubah tinggi dan lebar kandang dan memperluas bukaan ventilasi kandang agar suhu dalam kandang lebih rendah.

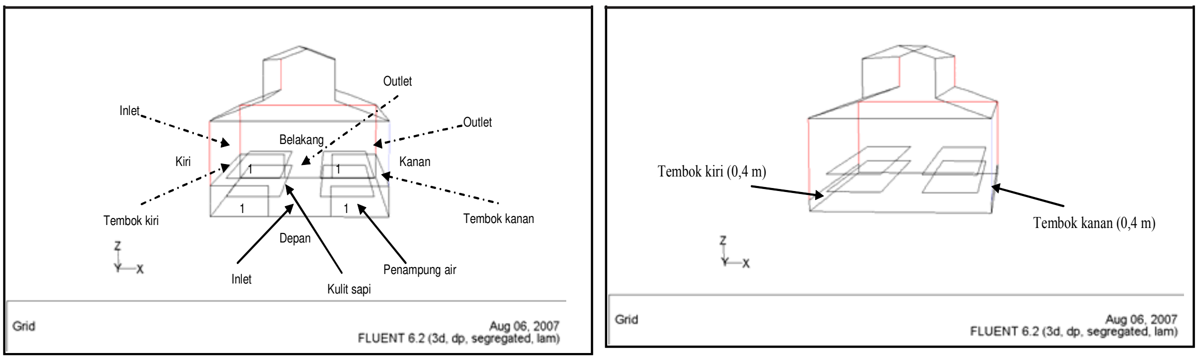
Validasi Distribusi Suhu Udara pada Kandang Sapi Perah

Validasi distribusi suhu udara dilakukan dengan cara membandingkan data suhu udara hasil pengukuran dengan data suhu udara hasil simulasi menggunakan CFD pada 24 titik. Validasi dilakukan sebanyak 3 kali pada waktu yang berbeda yaitu pada pagi (pukul 9:20 WIB), siang (pukul 13:00 WIB) dan sore hari (pukul 15:20 WIB). Hasil validasi distribusi suhu udara dalam kandang sapi perah menunjukkan kecenderungan hasil simulasi CFD mendekati hasil pengukuran dengan *error* yang rendah. Rata-rata *error* yang terjadi pada pukul 15:20, 13:00 dan 15:20 WIB masing-masing sebesar 1,28%, 1,90% dan 1,40%. Nilai *error* yang kecil tersebut menunjukkan bahwa simulasi menggunakan CFD dapat dijadikan acuan untuk perancangan kandang sapi perah FH dalam perspektif distribusi suhu udara. Selanjutnya, data input dalam *solver* untuk keperluan simulasi desain kandang diambil dari data pengukuran pada siang hari (pukul 13:00 WIB), karena pada siang hari radiasi matahari mencapai puncaknya, demikian juga dengan suhu udara dalam kandang.

Hasil Simulasi Distribusí Suhu Udara Berdasarkan Disain Kandang

Simulasi dilakukan dengan melibatkan 20 ekor sapi perah yang ditempatkan dalam kandang. Rata-rata bobot badan sapi perah adalah 350 kg dengan rataan luas kulit sebesar 3,47 m^2 yang diletakkan secara merata di dalam kandang. Peletakan kulit sapi (radiator) dalam simulasi menggunakan CFD dimodelkan dengan hamparan kulit berbentuk persegi panjang pada arah x (193 cm) dan arah y (900 cm) pada dua ketinggian (z) dengan jarak 20 cm dari tembok kiri dan kanan, 62 dan 125 cm dari lantai. Kondisi awal kandang sebelum dilakukan simulasi berupa kandang sapi perah FH dengan tinggi 5,75 m, lebar 6,3 m, tinggi dinding kanan dan kiri 1,05 m, sebelah depan dan belakang terdapat bak penampung air dengan tinggi 1,05 m akan disimulasikan dengan diisi sapi dengan kecepatan angin 0,7 m dari arah kiri/kanan dan depan/belakang. Bentuk geometri kandang dan peletakan kulit sapi pada disain kandang awal dan disain kandang simulasi dapat dilihat pada Gambar 6. Hasil simulasi disain kandang pada ketinggian (z=0,6; 1,2 & 1,6 m) dengan arah angin dari depan/belakang dan kanan/kiri disajikan pada Tabel 3.

Berdasarkan Tabel 3 dapat dilihat bahwa distribusi suhu udara dalam kandang hasil simulasi pada ketinggian 0,6; 1,2 dan 1,6 m sangat dipengaruhi oleh luas bukaan ventilasi. Distribusi suhu udara dalam kandang pada tinggi atap kandang 5,25 m akan menurun dengan bertambah lebar bukaan *inlet* dan *outlet* dari depan/belakang kandang. Suhu udara terbesar berada pada ketinggian 1,2 m karena berada pada dua radiator (kulit sapi) yang memancarkan panas sebesar 36,21^{o}C. Kondisi yang sama terjadi pada tinggi atap kandang 5,75 m dan 6,25 m. Bukaan ventilasi yang semakin besar menyebabkan pertukaran udara di dalam dan luar kandang semakin tinggi sehingga suhu udara dalam kandang akan lebih cepat turun sebanding dengan bertambahnya bukaan ventilasi. Bukaan ventilasi pada simulasi diperluas dengan cara menurunkan dinding kanan dan kiri kandang dari 1,05 m menjadi 0,4 m, memindahkan tempat penampung air yang berada di depan dan belakang



Kandang sebelum simulasi

Kandang simulasi

Gambar 6. Bentuk geometri kandang dan peletakan kulit sapi pada disain kandang awal dan disain kandang simulasi

Tabel 3 Distribusi suhu udara hasil simulasi CFD pada beberapa disain kandang

Z (m)	Nilai	Tinggi atap 5,25 m			Tinggi atap 5,75 m			Tinggi atap 6,25 m			Kondisi awal
		L1	L2	L3	L1	L2	L3	L1	L2	L3	
					Arah angin (*inlet*) dari depan/belakang						
0,6	Minimum (^{0}C)	32,25	32,243	32,244	32,231	32,247	32,174	32,245	32,25	32,25	32,25
	Maksimum (^{0}C)	34,212	34,426	34,775	34,051	34,426	34,159	34,143	34,212	33,937	35,618
	Rata-rata (^{0}C)	33,017	32,897	32,835	32,944	32,89	32,776	32,842	33,017	32,857	34,035
	Koefisien variasi (%)	1,711	1,781	1,868	1,956	1,794	2,22	2,024	1,712	2,003	2,942
1,2	Minimum (^{0}C)	32,25	32,25	32,25	32,25	32,25	32,244	32,25	32,25	32,25	32,25
	Maksimum (^{0}C)	35,601	35,6	35,629	35,323	35,621	35,281	35,353	35,601	35,075	34,988
	Rata-rata (^{0}C)	33,756	33,72	33,378	33,767	33,261	33,448	33, 767	33, 366	33,349	33,069
	Koefisien variasi (%)	3,326	3,334	3,525	3,469	3,376	3,512	3,604	3,325	3,496	1,921
1,6	Minimum (^{0}C)	32,25	32,25	32,25	32,25	32,25	32,25	32,25	32,25	32,25	32,25
	Maksimum (^{0}C)	35,698	35,634	35,593	35,433	35,634	35,015	35,164	35,567	35,033	35,596
	Rata-rata (^{0}C)	33,688	33,455	33,232	33,35	33,455	32,82	32,943	33, 812	32,546	33,786
	Koefisien variasi (%)	3,321	3,378	3,302	3,578	3,378	2,793	3,01	3,461	2,572	2,682
Rata-rata pada z=0,6; 1,2 dan 1,6 m		33,487	33,357	33,148	33,354	33,202	33,015	33,184	33,398	32,917	33,63
					Arah angin (*inlet*) dari depan/belakang						
0,6	Minimum (^{0}C)	32,251	32,25	32,242	32,223	32,25	32,226	33,533	32,251	32,25	34,03
	Maksimum (^{0}C)	35,855	35,809	35,788	35,89	35,8	35,852	35,729	35,855	35,775	34,52
	Rata-rata (^{0}C)	34,234	34,164	34,135	34,242	34,193	34,17	34,823	34,234	34,264	34,24
	Koefisien variasi (%)	3,342	3,226	3,186	3,263	3,263	3,134	2,052	3,341	3,152	0,34
1,2	Minimum (^{0}C)	32,25	32,25	32,25	32,25	32,25	32,25	32,684	32,25	32,25	33,38
	Maksimum (^{0}C)	35,708	35,66	35,664	35,167	35,565	35,574	34,655	35,708	35,427	34,42
	Rata-rata (^{0}C)	33,721	33,729	33,663	33,708	33,571	33,697	33,795	33,721	33,693	33,97
	Koefisien variasi (%)	2,738	2,957	2,833	2,405	2,666	2,753	1,525	2,738	2,549	1,05
1,6	Minimum (^{0}C)	32,25	32,25	32,25	32,25	32,25	32,25	32,635	32,25	32,25	32,83
	Maksimum (^{0}C)	34,706	35,033	34,652	34,183	34,533	35,079	33,954	34,706	34,72	34,03
	Rata-rata (^{0}C)	33,342	33,316	33,262	33,303	33,256	33,251	33,412	33,343	33,25	33,71
	Koefisien variasi (%)	1,906	2,224	2,099	1,677	1,853	2,127	0,879	1,905	1,879	0,95
Rata-rata pada z=0,6; 1,2 dan 1,6 m		33,766	33,736	33,687	33,751	33,673	33,706	34,01	33,766	33,736	33,97
Rata-rata 2 arah angin (*inlet*)		33,627	33,547	33,418	33,703	33,438	33,361	33,597	33,582	**33,327**	**33,8**

kandang (posisi awal setinggi 1,05 m menjadi 0 m). Distribusi suhu udara dalam kandang pada 9 disain kandang simulasi selain dipengaruhi oleh bukaan ventilasi, kecepatan angin, juga dipengaruhi oleh efek termal yang terjadi di dalam kandang (Papadakids *et.al.*,1998). Kulit sapi perah memberikan kontribusi cukup tinggi terhadap panas dalam kandang yaitu dengan suhu kulit sebesar 36,2^{o}C dan *heat transfer coefficient* sebesar 55,41 W/m^2.^{o}C.

Disain kandang simulasi yang dipilih adalah disain kandang dengan tinggi atap kandang 6,25 m, lebar 8,3 m, tinggi dinding kanan dan kiri 0,4 m dengan posisi bak penampung air dipindahkan. Dipilihnya disain ini karena bukaan ventilasi yang dibuat telah mampu mereduksi panas dalam kandang dengan suhu udara rata-rata dalam kandang pada tiga ketinggian (z=0,6; 1,2 dan 1,6 m) sebesar 33,327^{o}C (rata-rata pada dua arah angin). Distribusi suhu udara hasil simulasi pada