

Studi Numerik Pengaruh Peletakan *Cooling Pad* Terhadap Distribusi Temperatur dan Pola Aliran Udara Ventilasi Kandang Ayam Broiler *Close House* Tipe Ventilasi Lorong

Adistana Sandyawan dan Ary Bachtiar Krishna Putra
Departemen Teknik Mesin, Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS)
e-mail: aribach@me.its.ac.id

Abstrak—Ayam broiler merupakan salah satu sumber protein hewani sehingga tingkat produktivitasnya perlu dijaga. Salah satu parameter untuk menjaga produktivitas ayam adalah dengan menjaga temperatur lingkungan kandang ideal. Temperatur ideal kandang dapat dicapai melalui pemilihan tipe konstruksi dan ventilasi kandang yang tepat. Tipe konstruksi dan ventilasi kandang yang umum digunakan untuk daerah dengan iklim tropis dan kelembaban relatif tinggi adalah *close house* tipe ventilasi lorong (*tunnel*) dan *evaporative cooling*. Tipe ventilasi lorong memiliki karakteristik distribusi temperatur udara yang kurang merata sehingga produktivitas ayam terganggu. Untuk meningkatkan produktivitas, diperlukan pengaturan peletakan dan jumlah *cooling pad* sehingga distribusi temperatur udara lebih merata. Penelitian ini menggunakan perangkat lunak ANSYS 18.0 dan FLUENT 18.0 untuk simulasi kandang broiler *close house*. Model simulasi kandang broiler terdiri dari konstruksi kandang dan ayam broiler berjumlah 5600 ekor. Geometri ayam broiler dimodelkan sebagai *porous media*. Variasi yang dilakukan berupa penggunaan 2 buah *cooling pad* bukaan penuh, 4 buah bukaan setengah, dan 6 buah bukaan sepertiga. Pemodelan serta meshing kandang broiler *close house* dilakukan dengan ICEM ANSYS 18.0 sementara simulasi dilakukan dengan software FLUENT 18.0. Hasil akan ditampilkan secara kualitatif berupa kontur temperatur dan kontur kecepatan maupun secara kuantitatif berupa grafik distribusi temperatur udara yang dirasakan ayam dalam kandang. Hasil simulasi menunjukkan bahwa separasi aliran terbesar terjadi pada kabin kandang dengan 2 buah *cooling pad*. Aliran pada kandang dengan 4 dan 6 *cooling pad* mengalami pembentukan *vortex wake* karena terjadi perubahan penampang aliran masuk yang sangat signifikan. Ayam merasakan suhu udara dengan batas kenyamanan 28°C – 32°C saat diletakkan pada ketiga jenis variasi kandang. Ayam pada kandang dengan 4 dan 6 *cooling pad* yang berada di dekat pertemuan 2 aliran *cooling pad* memiliki potensi mengalami *thermal shock* akibat dari perbedaan temperatur yang signifikan. *Thermal shock* dapat meningkatkan *feed conversion rate* (FCR) dan resiko ayam terserang penyakit.

Kata Kunci—CFD, *Evaporative Cooling*, Kandang Broiler.

I. PENDAHULUAN

PEMBANGUNAN sub sektor peternakan terus dilakukan hingga saat ini dengan tujuan untuk mencukupi kebutuhan protein hewani yang berasal dari daging, susu dan telur. Berdasarkan data dari Badan Pusat Statistik, rata-rata harian konsumsi protein perkapita Indonesia terus meningkat setiap tahun. Peningkatan tersebut diakibatkan oleh pertambahan penduduk, daya beli masyarakat meningkat dan

kesadaran masyarakat akan pentingnya makanan yang bergizi bertambah. Salah satu sumber protein hewani yang paling banyak diminati masyarakat Indonesia berupa daging berasal dari ayam potong (broiler).

Kebutuhan pasar akan daging ayam perlu diimbangi dengan produktivitas yang stabil. Berbagai usaha peternakan dalam menjaga produktivitas daging ayam adalah menjaga kualitas pakan ternak, memilih bibit unggul, hingga menyediakan lingkungan kandang ideal. Salah satu parameter lingkungan kandang ideal ditentukan oleh temperatur dan kelembaban kandang. Indonesia merupakan negara beriklim tropis dimana matahari bersinar sepanjang tahun. Hal ini membuat suhu dan kelembaban lingkungan terlalu tinggi untuk memelihara ayam karena suhu optimal untuk memelihara ayam broiler berkisar antara 28-32°C. Salah satu cara yang dapat digunakan untuk menciptakan iklim kandang yang sehat yaitu sistem kandang *close house*. Sistem ini menjamin keamanan secara biologi atau kontak dengan organisme lain, dengan pengaturan ventilasi udara yang baik sehingga mengurangi stres pada ternak. Tujuan sistem kandang *close house* adalah untuk menyediakan udara dan iklim yang kondusif bagi ternak sehingga meminimalisasi tingkat stress.

Sistem manajemen kandang *close house* harus mempunyai sistem pendinginan yang baik. Sistem yang dipakai pada kandang broiler *close house* yaitu *evaporative cooling*. Sistem pendinginan menggunakan *evaporative cooling* memiliki kelebihan jika dibandingkan dengan sistem refrigerasi, antara lain memiliki konsumsi energi lebih hemat, proses *maintenance* lebih mudah, dan biaya relatif lebih murah. Sistem *evaporative cooling* menggunakan media pendingin berupa air. Udara luar akan didinginkan oleh air sehingga temperatur udara menurun dan kelembaban bertambah.

Beberapa peternakan di Indonesia sudah mulai menerapkan manajemen kandang *close house* dalam membangun konstruksi kandang. Penggunaan *evaporative cooling* dapat menurunkan suhu kandang, namun distribusi temperatur kandang masih kurang merata. Suhu udara sesaat setelah keluar dari *evaporative cooling* cenderung lebih dingin dari suhu udara dekat *exhaust*. Temperatur ideal kandang harus terdistribusi secara merata agar semua ayam dapat tumbuh dengan baik. Temperatur ideal kandang dapat dicapai dengan nilai kecepatan udara yang sesuai. Di sisi lain, kecepatan udara dalam kandang dapat memberikan efek *wind chill* sehingga temperatur yang dirasakan ayam lebih kecil dari suhu lingkungan terukur sehingga diperlukan pengaturan

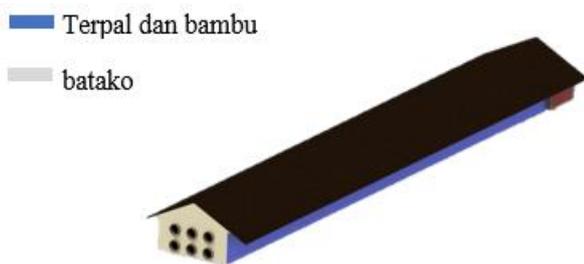
putaran dari *exhaust-fan* untuk menghasilkan kecepatan udara yang sesuai. Untuk itu, penelitian ini akan mengangkat kasus pengaruh posisi peletakan dna jumlah *cooling pad* terhadap distribusi temperatur dan pola aliran udara ventilasi kandang broiler close house tipe ventilasi lorong.

II. URAIAN PENELITIAN

Penelitian mengenai pengaruh posisi peletakan dan jumlah *cooling pad* terhadap distribusi temperatur dan pola aliran udara ventilasi kandang broiler close house tipe ventilasi lorong dilakukan dengan melakukan beberapa kajian pustaka. Ayam yang digunakan sebagai obyek penelitian memiliki tinggi badan 21,4 cm [1]. Luas permukaan tubuh ayam digunakan untuk menghitung panas yang dihasilkan oleh ayam. Luas Permukaan tubuh ayam obyek penelitian memiliki nilai 0,1250 m² [2]. Data panas tubuh ayam per satuan luas tubuh ayam didapat dari gambar 1 [3]. Perhitungan suhu udara masuk dan kelembaban kandang dihitung menggunakan persamaan perhitungan *direct evaporative cooler* [4]. Nilai konduktivitas material penyusun kandang yaitu batako, terpal dan bambu berturut – turut bernilai 0,339 W/m°C, 0,5 W/m°C, dan 0,227 W/m°C [5]. Udara ventilasi didinginkan oleh *direct evaporative cooling* melalui proses *cooling and humidifying* [6]. *Cooling load* yang diterima kandang dihitung menggunakan metode *cooling load temperature difference* (CLTD) untuk mengetahui beban pendinginan maksimum kandang [7]. Beban pendinginan maksimum tersebut digunakan sebagai input simulasi. Standar kenyamanan suhu lingkungan ayam diambil berdasarkan standart yang diterapkan oleh PT. FSI, Lamongan yaitu senilai 28 – 32 °C [8]. Tingkat kenyamanan ayam dilihat dari pengaruh efek *wind chill* yang dirasakan ayam [9]. Semakin besar *wind chill*, maka ayam akan merasakan temperatur dibawah suhu udara sekitar.

A. Obyek Penelitian

Objek pada penelitian ini merupakan kandang ayam broiler close house CV JAYA ABADI, Lumajang. Kandang memiliki dimensi p x l x t yaitu 80 x 10 x 5 meter dengan ayam berjumlah 5600 ekor umur 28 hari. Dinding kandang tersusun atas batako dan campuran terpal dan bambu.



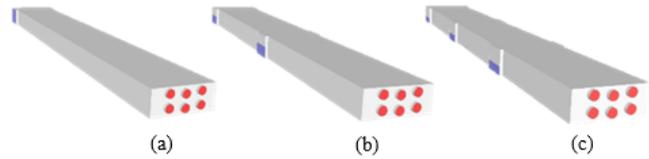
Gambar 2. Geometri kandang ayam broiler close house.

B. Pengumpulan Data

Kandang broiler close CV JAYA ABADI menjadi objek utama penelitian ini. Data geometri, material penyusun, kapasitas ayam, spesifikasi *fan* dan *evaporative cooler* kandang diambil dengan cara melakukan kunjungan langsung dan wawancara dengan pemilik kandang. Data penunjang penelitian seperti komposisi material penyusun kandang, arah angin, geometri ayam, dan *properties* udara lingkungan diambil dari jurnal terdahulu dan sumber lainnya.

C. Permodelan Geometri dan Meshing

Geometri kandang broiler *close house* dapat dimodekan secara 3 dimensi berdasarkan data dimensi yang diperoleh. Pada penelitian ini, dilakukan 3 jenis variasi geometri kandang untuk melihat pengaruh peletakan *cooling pad* terhadap terhadap distribusi temperatur dan pola aliran udara dalam kandang. Bukaan setiap variasi kandang diatur agar luasan total udara masuk bernilai sama untuk menjaga *mass flow rate* udara yang masuk sama besar.



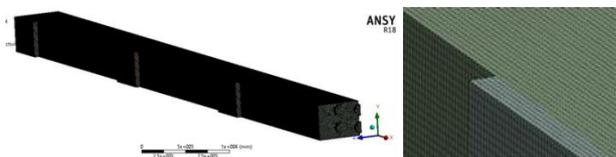
Gambar 3. Geometri kandang (a) 2 buah *cooling pad* bukaan penuh; (b) 4 buah *cooling pad* bukaan setengah; (c) 6 buah *cooling pad* bukaan sepertiga

Tahap pembuatan *mesh* dilakukan setelah geometri pemodelan selesai dibuat. Untuk mendapatkan hasil simulasi yang baik, maka perlu dilakukan proses *grid independency test*. pada tingkat kerapatan *coarse*, *medium*, dan *fine mesh* pada model yang telah digambarkan pada *software* ANSYS ICEM CFD. Pengaturan yang digunakan dalam membuat *meshing* pada ANSYS ICEM CFD pada ketiga geometri dapat dilihat pada Tabel 1 dibawah ini:

Tabel 1.
Pengaturan pemodelan *meshing* pada ANSYS ICEM CFD

<i>Meshing parameter</i>	<i>Setting</i>
<i>Physics Preference</i>	CFD
<i>Solver Preveruent</i>	Fluent
<i>Size Function</i>	<i>Proximity and Curvature</i>
<i>Relevance Center</i>	<i>Fine</i>
<i>Method</i>	<i>Multizone</i>
<i>Edge sizing</i>	
<i>Geometry</i>	36 <i>edges</i>
<i>Type</i>	<i>Element size</i> (110 mm)
<i>Curvature Normal Angle</i>	18°
<i>Smoothing</i>	Coarse
<i>Statistics (Nodes,Element)</i>	(1125733 ; 1053790)
<i>Element Quality Average</i>	0,96953

Adapun pengaturan *meshing* yang dilakukan pada salah satu geometri dapat dilihat pada Gambar 4 dibawah ini :



Gambar 4. Meshing geometri kandang dengan 6 buah *cooling pad*

D. Pemodelan Simulasi

Pemodelan geometri dan *meshing* yang sudah dibuat akan digunakan untuk simulasi aliran udara ventilasi kandang broiler *close house*. Simulasi aliran dilakukan dalam keadaan *steady state* dengan memberikan efek gravitasi sebesar 9.8 m/s². Beban pendinginan dari setiap komponen kandang yaitu dinding, atap dan panas tubuh ayam akan diolah dalam bentuk *heat flux* dan *heat generation*. Udara luar dengan temperatur ambien memasuki kandang melalui *evaporative cooler* sehingga terjadi penurunan suhu udara ventilasi. Suhu udara keluar *evaporative cooler* digunakan sebagai suhu inlet udara simulasi. *Pressure drop* dalam kandang dibuat konstan pada setiap variasi simulasi sehingga kondisi udara masuk dan keluar domain berupa *pressure inlet* dan *pressure outlet*.

Simulasi dilakukan dengan menggunakan *boundary condition* seperti pada Tabel 2. Kumpulan ayam dalam kandang dimodelkan dalam bentuk geometri balok 3 dimensi. Ayam diasumsikan menyebar secara merata pada dasar kandang sehingga geometri balok digambarkan pada seluruh dasar kandang dengan level ketinggian ayam. Geometri balok dimodelkan sebagai *porous media* dengan nilai *porosity* 0,845. *Heat generation* dilepaskan melalui *porous media* untuk menciptakan panas tubuh dari ayam.

Tabel 2.

Boundary condition kandang	
Boundary type	Setting
Inlet	Pressure inlet
Outlet	Exhaust-fan
Dinding kandang	Wall, Heat Flux
Permukaan ayam	Wall, Heat Flux

Aliran dalam simulasi dimodelkan menggunakan *viscous model standart k-epsilon* dengan pengaturan *enhanced wall treatment*. Pemodelan uap air pada kandang menggunakan *species transport*. *Solution method* yang digunakan untuk simulasi ini dapat dilihat pada Tabel 3. Dengan memilih *solution methods* yang tepat, maka akurasi hasil simulasi akan meningkat. *Solution methods second order* akan mampu menambah akurasi iterasi walaupun memerlukan memori dan daya komputasi yang lebih besar dibandingkan *first order*.

Tabel 3.

Solution method	
Spatial Discretization	Setting
Pressure-Velocity Coupling	SIMPLE
Gradient	Least Square Cell Base
Pressure	Second Order
Momentum	Second Order Upwind
Turbulent Kinetic Energy	Second Order Upwind
Turbulent Dissipation Rate	Second Order Upwind
Energy	Second Order Upwind

E. Validasi model

Validasi model dilakukan dengan membandingkan temperatur outlet udara hasil simulasi dengan perhitungan termodinamika. Input dari perhitungan adalah *mass flow rate* udara masuk kandang, *specific heat* (C_p) yang dievaluasi dari temperatur inlet, dan temperatur udara keluar *evaporative cooler*. *Control volume* yang digunakan dalam perhitungan termodinamika adalah seluruh bagian kandang seperti pada Gambar 5.



Gambar 5. Control volume perhitungan termodinamika

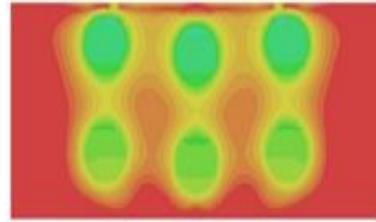
Perhitungan termodinamika dilakukan dengan uraian sebagai berikut :

$$Q = \dot{m} \times C_p \times (T_{out} - T_{in}) \tag{1}$$

$$T_{out} = \left(\frac{Q}{\dot{m} \times C_p} \right) + T_{in}$$

$$= \left(\frac{67017 \text{ W}}{85,248 \frac{\text{kg}}{\text{s}} \times 1006,4 \frac{\text{J}}{\text{K}}} \right) + 301,6 \text{ K} = 302,44 \text{ K}$$

Sementara temperatur outlet udara simulasi diambil dengan metode *temperature surface integral* pada *plane* bagian paling belakang dari model. Tampilan distribusi temperatur udara simulasi belakang kandang dapat dilihat pada Gambar 6. Nilai temperatur outlet udara domain simulasi bernilai 302,3 K.



Gambar 6. Kontur temperatur udara belakang kandang

Perhitungan termodinamika dan hasil simulasi kemudian dibandingkan sehingga didapatkan nilai *error*. Nilai *error* yang kecil menandakan bahwa model simulasi yang telah dibangun dapat digunakan untuk penelitian. Perhitungan nilai *error* dapat dilihat pada uraian berikut :

$$error = \frac{302,44 - 302,3}{302,44} \times 100\%$$

$$= 0,04\%$$

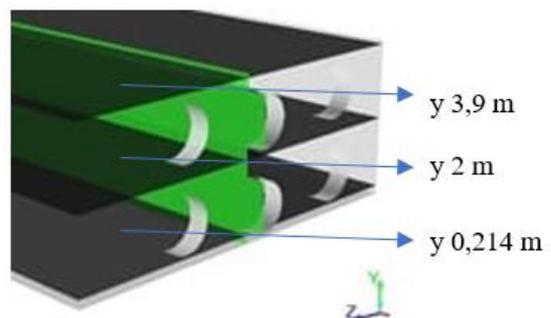
F. Variasi yang Digunakan

Variasi yang digunakan dalam penelitian ini dapat dilihat pada Tabel 4. Hal yang menjadi variabel terikat pada variasi yang digunakan adalah luasan udara masuk. Luaran dari variasi yang dilakukan adalah distribusi temperatur dan pola aliran udara ventilasi berupa kontur temperatur dan kecepatan serta grafik temperatur udara yang dirasakan ayam.

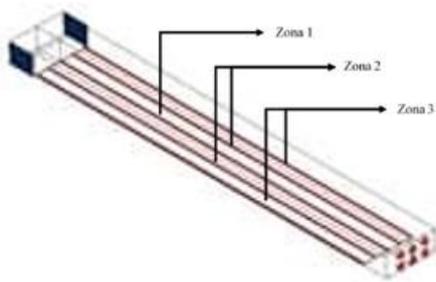
Tabel 4.

Variasi penelitian	
Variasi	Karakteristik Geometri
Variasi 1	2 buah <i>cooling pad</i> bukaan penuh
Variasi 2	4 buah <i>cooling pad</i> bukaan setengah
Variasi 3	6 buah <i>cooling pad</i> bukaan 1/3

Pengambilan kontur kecepatan dan temperatur diambil pada domain fluida sepanjang kandang sumbu y 0.214 m, y 2 m dan y 3,9 m seperti pada gambar 7 dan data kecepatan dan temperatur secara kuantitatif diambil pada sumbu y dengan jarak x 0 m, x 35 m, dan x 70 m. Sementara untuk pengamatan temperatur udara yang dirasakan ayam dilakukan pada ketinggian ayam yaitu y 0,214 m dengan sumbu z 0 (zona 1), z 2.5 (zona 2), dan z 4.9 (zona 3) seperti pada gambar 8. Data diambil pada ketinggian tersebut untuk mengetahui tingkat kenyamanan ayam yang ditentukan dari temperatur lingkungan dan efek *wind chill* pada titik tersebut.



Gambar 7. Bidang pengambilan kontur temperatur dan kecepatan



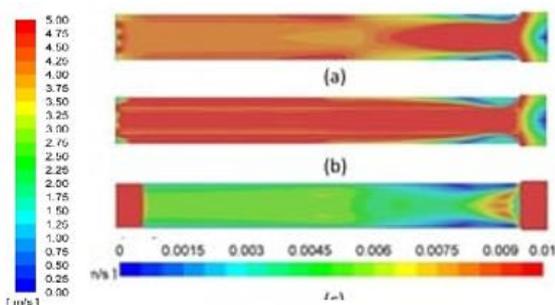
Gambar 8. Bidang pengambilan data temperatur udara kenyamanan ayam.

III. HASIL DAN ANALISA

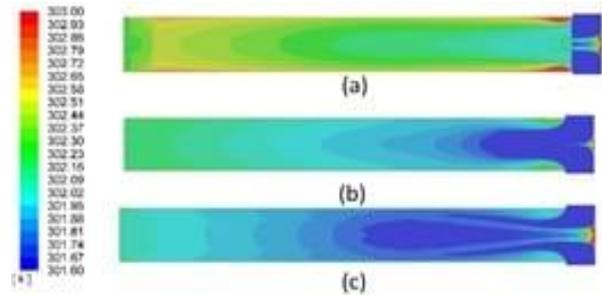
A. Kandang dengan 2 Buah Cooling Pad

Pada simulasi kandang dengan 2 buah *cooling pad* didapatkan fenomena aliran dan distribusi temperatur berturut – turut seperti pada gambar 9 dan 10. *Exhaust fan* kandang membuat tekanan kabin menjadi negatif sehingga menimbulkan aliran udara dari luar menuju dalam kabin dengan kapasitas 94 kg/s. Udara yang mengalir menuju kabin mengalami perubahan penampang aliran secara tiba - tiba sehingga menyebabkan terjadinya *flow separation*. Besar luasan daerah separasi tergantung beberapa faktor seperti kekasaran permukaan dan bilangan reynold. Aliran yang masuk pada daerah separasi tidak memiliki cukup momentum untuk kembali pada aliran utama (*primary flow*) sehingga akan terperangkap pada daerah tersebut dan menjadi *secondary flow*. Kecepatan udara pada daerah separasi lebih rendah dari aliran utama. Di luar daerah separasi, kecepatan aliran udara bertambah karena adanya pertemuan antara dua aliran udara dari kedua ujung *cooling pad*. Ketika aliran udara menabrak sudut dinding pemisah menyebabkan aliran terdesak pada daerah pertemuan dua aliran udara. Pada daerah ini kecepatan aliran udara bertambah karena berkurangnya daerah efektif aliran. Aliran udara menjadi terganggu sebelum akhirnya membentuk *fully developed flow* setelah masuk melewati *cooling pad* dan bertumbukan. Gangguan pada aliran udara ini disebabkan karena adanya tumbukan udara dari 2 buah *cooling pad* yang berbeda.

Peristiwa perpindahan panas terjadi dari udara menuju *cooling pad*. Panas berupa kalor sensible dan kecepatan udara diubah menjadi kalor laten air yang melapisi *cooling pad* sehingga timbul peristiwa evaporasi air menuju udara. Peristiwa ini menyebabkan penurunan temperatur udara menjadi 301.6 K dengan kenaikan kelembaban relatif menjadi 87%. Kecepatan rendah pada daerah *wake* membuat laju perpindahan panas rendah sehingga temperatur udara pada daerah *wake* bernilai tinggi. Udara mengambil panas dari komponen sepanjang kandang sehingga temperatur udara meningkat saat mendekati *fan*.

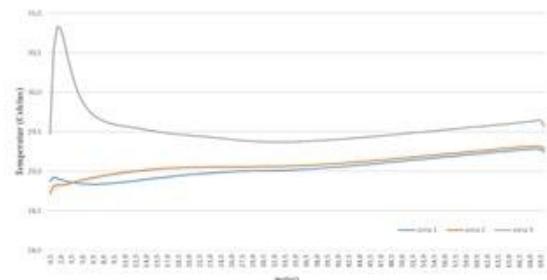


Gambar 9. Kontur kecepatan udara kandang ketinggian (a) z 2 m; (b) z 3,9 m; (c) z 0,214 m.



Gambar 10. Kontur temperatur udara kandang ketinggian (a) z 0,214 m; (b) z 2 m; (c) z 3,9 m

Data temperatur dan kecepatan udara pada lantai dasar digunakan untuk menganalisa efek *wind chill* yang dialami ayam. Laju perpindahan panas terendah terdapat pada daerah separasi sehingga menciptakan temperatur udara yang tinggi. Kecepatan aliran pada daerah separasi bernilai rendah sehingga efek *wind chill* yang diterima ayam juga kecil. Temperatur udara lingkungan yang tinggi dan efek *wind chill* yang rendah membuat ayam akan merasakan temperatur terpanas pada daerah separasi sehingga ayam akan merasakan suhu udara antara 28,7 – 31 °C. Kondisi ini masih berada dalam batas toleransi kenyamanan ayam yaitu 28 – 32 °C sehingga konfigurasi kandang ini masih dapat digunakan.

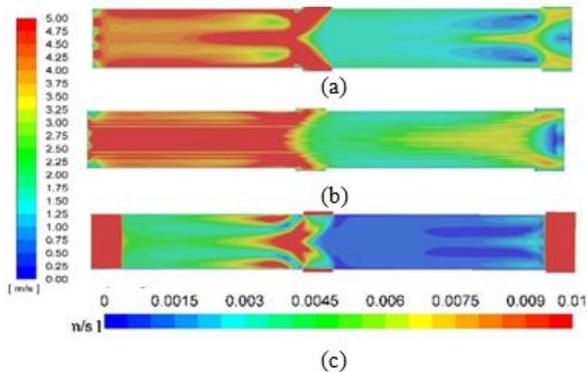


Gambar 11. Distribusi temperatur udara yang dirasakan ayam kandang dengan 2 buah *cooling pad*

B. Kandang dengan 4 Buah Cooling Pad

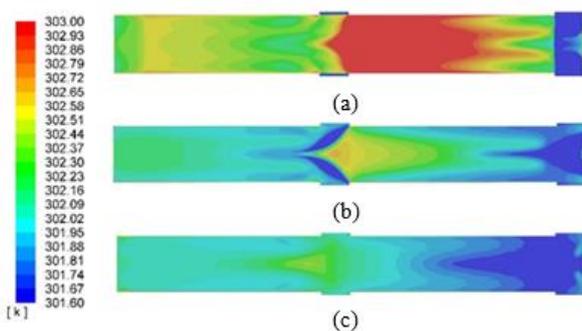
Pada simulasi kandang dengan 4 buah *cooling pad* didapatkan fenomena aliran dan distribusi temperatur berturut – turut seperti pada gambar 12 dan 13. *Exhaust fan* menimbulkan tekanan udara negatif dalam kabin sehingga timbul aliran udara ventilasi memasuki kandang. Udara lingkungan memasuki kandang melalui 4 buah *cooling pad*. Peristiwa perpindahan panas terjadi dari udara menuju *cooling pad*. Panas berupa kalor sensible dan kecepatan udara diubah menjadi kalor laten air yang melapisi *cooling pad* sehingga timbul peristiwa evaporasi air menuju udara. Peristiwa ini menyebabkan penurunan temperatur udara menjadi 301.6 K dengan kenaikan kelembaban relatif menjadi 87%. Dua buah *cooling pad* tambahan diletakkan lebih dekat dengan *exhaust fan*. Fan yang digunakan masih menggunakan konfigurasi (putaran fan, posisi, dan jumlah) yang sama sehingga menciptakan tekanan negatif kabin yang sama. Udara yang masuk menuju kabin berasal dari lingkungan tanpa mengalami proses peningkatan maupun penurunan tekanan sehingga bernilai tekanan atmosfer. Dua buah *cooling pad* baru memiliki selisih tekanan inlet dan outlet yang sama dengan 2 buah *cooling pad* yang lama sehingga *headloss* kedua aliran adalah sama. Lintasan aliran udara yang berasal dari *cooling pad* baru lebih pendek dari udara yang berasal dari *cooling pad* lama sehingga *mass flow* udara *cooling pad* baru lebih besar untuk mempertahankan

beda tekanan yang sama. Distribusi *mass flow rate* yang berbeda membuat kecepatan aliran juga berbeda untuk setiap *cooling pad*. Laju perpindahan panas kandang bagian depan lebih rendah dari bagian belakang karena kecepatan aliran yang rendah.



Gambar 12. Kontur kecepatan udara kandang ketinggian (a) z 2 m; (b) z 3,9 m; (c) z 0,214 m

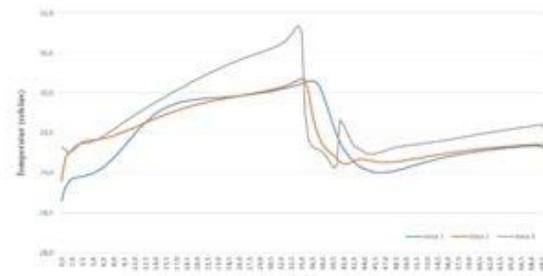
Udara mengalir dari *cooling pad* lama dengan *mass flow rate* 35.3 kg/s. Aliran dari masing - masing *cooling pad* kemudian bertabrakan dan berbelok 90 derajat menuju kabin. Aliran dalam kabin bergesekan dengan dinding kandang sehingga timbul tegangan geser dan gradien temperatur udara. Gesekan aliran akan terakumulasi dan bertambah besar sehingga membentuk *thermal* dan *velocity boundary layer*. Aliran udara yang menuju kabin mengalami perubahan penampang secara tiba - tiba sehingga timbul *wake*. *Wake* akan terus tumbuh pada kabin karena terdorong aliran lain. Aliran kemudian terus mengalir pada kabin hingga bertemu dengan aliran udara yang berasal dari *cooling pad* baru dengan *mass flow rate* 59.7 kg/s. Aliran dari kedua *cooling pad* memiliki tekanan yang berbeda. Aliran yang tidak memiliki cukup momentum untuk melawan separasi akan berputar - putar pada daerah *wake* dan membentuk *secondary flow*. Peristiwa perpindahan panas kandang bagian tengah kebelakang mendapatkan udara pendinginan dari keempat *cooling pad* sehingga pendinginan menjadi maksimal.



Gambar 13. Kontur emperatur udara kandang ketinggian (a) z 0,214 m; (b) z 2 m; (c) z 3,9 m

Ayam merasakan temperatur udara sekitar 28,8°C pada jarak 1 meter. Separasi aliran yang terjadi tidak seluas kandang dengan 2 buah *cooling pad* sehingga memiliki karakteristik distribusi temperatur yang berbeda pada jarak awal. Temperatur terus mengalami kenaikan hingga mencapai suhu 30,15 °C pada jarak 37 meter. Aliran *cooling pad* lama kemudian bertemu dengan *cooling pad* baru. Pertemuan dua aliran ini meningkatkan kecepatan aliran sehingga memperbesar efek *wind chill*. Efek *wind chill* yang besar membuat temperatur udara yang dirasakan ayam turun hingga mencapai 29°C. Temperatur kemudian kembali naik

hingga mencapai domain terakhir ayam pada jarak 70 meter. Udara yang mengalir pada kandang membawa panas dari ayam dan dinding yang sudah dilewati sebelumnya sehingga terjadi peningkatan suhu udara. Suhu udara yang meningkat membuat beda temperatur antara udara dengan komponen kandang mengecil sehingga menurunkan laju perpindahan panas. Konfigurasi kandang dengan 4 buah *cooling pad* dapat diterapkan karena terdapat ayam pada ketiga zona merasakan temperatur udara didalam batas kenyamanan ayam yaitu antara 28 - 32°C. Namun, ayam yang berada di sekitar daerah pertemuan aliran *cooling pad* lama dan baru akan mudah mengalami *thermal shock* karena perbedaan temperatur yang tinggi sehingga rentan terhadap penyakit. Efek lain yang dapat ditimbulkan yaitu meningkatnya *feed conversion rate* ayam. *Feed conversion rate* (FCR) merupakan jumlah pakan yang dibutuhkan untuk menumbuhkan 1 kilogram daging sehingga meningkatkan biaya produksi.

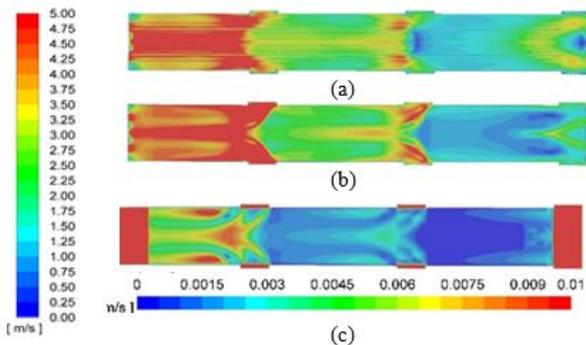


Gambar 14. Distribusi temperatur udara yang dirasakan ayam kandang dengan 4 buah *cooling pad*

C. Kandang dengan 6 Buah Cooling Pad

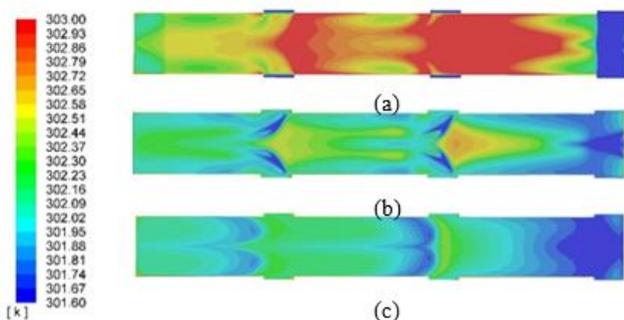
Pada simulasi kandang dengan 6 buah *cooling pad* didapatkan fenomena aliran dan distribusi temperatur berturut - turut seperti pada gambar 15 dan 16. Udara mengalir dari *cooling pad* 1 dengan *mass flow rate* 22.7 kg/s. Aliran dari masing - masing *cooling pad* kemudian bertabrakan dan berbelok 90 derajat menuju kabin. Aliran dalam kabin bergesekan dengan dinding kandang sehingga timbul tegangan geser dan gradien temperatur udara. Gesekan aliran akan terakumulasi dan bertambah besar sehingga membentuk *thermal* dan *velocity boundary layer*. Aliran udara yang menuju kabin mengalami perubahan penampang secara tiba - tiba sehingga timbul *wake*. *Wake* akan terus tumbuh pada kabin karena terdorong aliran lain. *Cooling capacity* udara *cooling pad* 1 lebih kecil dari beban pendinginan kandang bagian depan sehingga proses perpindahan panas tidak terjadi dengan baik. Hal ini dapat ditunjukkan dengan temperatur udara kabin yang masih panas. Aliran kemudian terus mengalir pada kabin hingga bertemu dengan aliran udara yang berasal dari *cooling pad* 2 dengan *mass flow rate* 28.4 kg/s. Aliran yang masuk kabin melalui *cooling pad* 2 mengalami perubahan penampang secara tiba - tiba sehingga menimbulkan separasi aliran. Aliran yang tidak memiliki cukup momentum untuk melawan separasi akan berputar - putar pada daerah *wake* dan membentuk *secondary flow*. Udara yang digunakan untuk mendinginkan kandang bagian tengah berasal dari campuran udara *cooling pad* 1 dan 2 sehingga meningkatkan *cooling capacity* aliran. *Cooling capacity* aliran pada kandang bagian tengah cukup untuk mendinginkan beban kandang bagian tengah. Hal ini dapat dilihat pada kontur temperatur rata rata udara yang lebih rendah dari udara kandang bagian depan. Aliran kemudian bertemu dengan aliran *cooling pad* 3. Aliran *cooling pad* 3

dengan *mass flow rate* 44,1 kg/s mengalami fenomena aliran yang sama dengan aliran *cooling pad* 1 dan 2. Pendinginan maksimal berada pada kandang bagian belakang karena ketiga aliran bertemu sehingga menciptakan *cooling capacity* udara tertinggi. Hal ini dapat dilihat dari kontur temperatur udara kandang yang paling dingin daripada kandang bagian depan dan tengah pada segala level ketinggian.



Gambar 15. Kontur kecepatan udara kandang ketinggian (a) z 2 m; (b) z 3,9 m; (c) z 0,214 m

Tekanan udara aliran *cooling pad* 1 lebih rendah dari aliran *cooling pad* 2. Aliran yang masuk kabin melalui *cooling pad* 2 mengalami perubahan penampang secara tiba – tiba sehingga menimbulkan separasi aliran. Aliran yang tidak memiliki cukup momentum untuk melawan separasi akan berputar – putar pada daerah *wake* dan membentuk *secondary flow*. Aliran *cooling pad* 1 bercampur dengan aliran *cooling pad* 2 dan cenderung mengisi daerah *wake* yang diciptakan oleh aliran *cooling pad* 2. Hal ini terjadi karena aliran *cooling pad* 1 tidak memiliki cukup momentum sehingga cenderung mengisi daerah tersebut. Aliran kemudian bertemu dengan aliran *cooling pad* 3. Aliran udara *cooling pad* 3 memasuki kandang dengan tekanan paling tinggi daripada aliran sebelumnya. Aliran *cooling pad* 3 yang memasuki kandang mengalami perubahan penampang secara tiba - tiba sehingga menimbulkan separasi aliran. Aliran yang tidak memiliki cukup momentum untuk melawan separasi akan berputar – putar pada daerah *wake* dan membentuk *secondary flow*. Aliran dalam daerah *wake* akan berkembang semakin besar karena terdorong oleh aliran sebelumnya ke arah aksial sehingga membentuk *vortex*. Aliran berbentuk *vortex* menciptakan zona dengan kecepatan rendah pada bagian tengah.

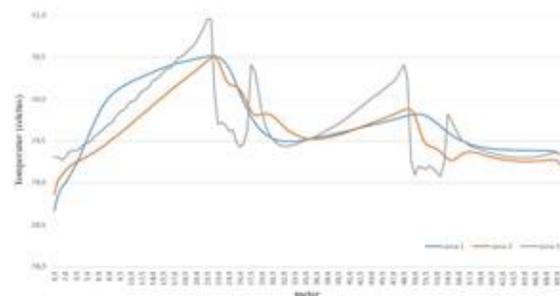


Gambar 16. Kontur emperatur udara kandang ketinggian (a) z 0,214 m; (b) z 2 m; (c) z 3,9 m

Ayam merasakan temperatur udara sekitar 28,7°C pada zona 1 dengan jarak 1 meter. Separasi aliran yang terjadi tidak seluas kandang dengan 2 buah *cooling pad* sehingga memiliki karakteristik distribusi temperatur yang berbeda pada jarak awal. Temperatur terus mengalami kenaikan hingga mencapai suhu 30,5°C pada jarak 23 meter. Aliran *cooling*

pad 1 kemudian bertemu dengan *cooling pad* 2. Pertemuan dua aliran ini meningkatkan kecepatan aliran sehingga memperbesar efek *wind chill*. Efek *wind chill* yang besar membuat temperatur udara ayam turun hingga mencapai 29,5°C. Panas yang dibawa oleh aliran sebelumnya meningkatkan temperatur sebesar 29,7°C. Aliran campuran *cooling pad* 1 dan 2 kemudian bertemu dengan aliran *cooling pad* 3. Pertemuan ketiga aliran ini meningkatkan kecepatan aliran sehingga memperbesar efek *wind chill*. Efek *wind chill* membuat temperatur udara ayam turun hingga mencapai 29,3°C. Udara yang mengalir pada kandang membawa panas dari ayam dan dinding yang sudah dilewati sebelumnya sehingga terjadi peningkatan suhu udara.

Ayam merasakan suhu udara yang dingin pada jarak 0 dan 70 meter pada zona 1 dan 2. Pada saat udara mengenai domain ayam pertama, terjadi penyempitan aliran sehingga meningkatkan kecepatan pada zona penyempitan tersebut. Kecepatan aliran yang meningkat membuat efek *wind chill* semakin besar sehingga menurunkan temperatur udara ayam. Aliran udara membentuk *vortex* pada zona 3. Pusaran yang dihasilkan menciptakan zona dengan kecepatan rendah pada zona 3 dengan jarak 1 meter sehingga menciptakan efek *wind chill* rendah. Konfigurasi kandang dengan 6 buah *cooling pad* dapat diterapkan karena terdapat ayam pada ketiga zona merasakan temperatur udara didalam batas kenyamanan ayam yaitu antara 28 - 32°C. Namun, ayam yang berada di sekitar daerah pertemuan aliran *cooling pad* 1,2 dan 3 akan mudah mengalami *thermal shock* karena perbedaan temperatur yang signifikan sehingga rentan terhadap penyakit. Efek lain yang dapat ditimbulkan yaitu meningkatnya *feed conversion rate* ayam. *Feed conversion rate* (FCR) merupakan jumlah pakan yang dibutuhkan untuk menumbuhkan 1 kilogram daging sehingga meningkatkan biaya produksi.



Gambar 17. Distribusi temperatur udara yang dirasakan ayam kandang dengan 6 buah *cooling pad*.

IV. KESIMPULAN

Aliran udara kandang dengan dua buah *cooling pad* memasuki kabin dengan distribusi aliran yang *uniform*. Aliran mengalami separasi akibat perubahan penampang aliran secara tiba – tiba. Temperatur udara ayam dari ketiga zona ayam masih berada pada batas kenyamanan ayam sehingga konfigurasi kandang dengan 2 buah *cooling pad* dapat digunakan.

Aliran udara kandang dengan empat buah *cooling pad* memasuki kabin dengan distribusi aliran yang *uniform*. Aliran mengalami separasi akibat perubahan penampang aliran secara tiba – tiba hingga timbul *wake*. Aliran yang terperangkap dalam daerah *wake* terdorong oleh aliran lain sehingga terbentuk *vortex*. Temperatur udara ayam dari ketiga zona ayam berada pada batas kenyamanan ayam sehingga konfigurasi kandang dengan 4 buah *cooling pad*

dapat digunakan. Namun, ayam pada daerah pertemuan aliran akan rentan terhadap penyakit dan meningkatkan FCR.

Aliran udara kandang dengan enam buah *cooling pad* memasuki kabin dengan distribusi aliran yang *uniform*. Aliran mengalami separasi akibat perubahan penampang aliran secara tiba – tiba hingga timbul *wake*. Aliran yang terperangkap dalam daerah *wake* terdorong oleh aliran lain sehingga terbentuk *vortex*. Temperatur udara ayam dari ketiga zona ayam berada pada batas kenyamanan ayam sehingga konfigurasi kandang dengan 6 buah *cooling pad* dapat digunakan. Namun, ayam pada daerah pertemuan aliran akan rentan terhadap penyakit dan meningkatkan FCR.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] W. E. Saputra, "Korelasi Dimensi Tubuh dan Berat Badan Akhir Ayam Pedaging Jantan dan Betina," Universitas Hasanuddin, 2017.
- [2] J. A. Morris, "Examination of Broiler Growth," University of Georgia, 2015.
- [3] S. T. Nascimento, A. S. C. Maia, K. G. Gebremedhin, and C. C. N. Nascimento, "Metabolic heat production and evaporation of poultry," *Poult. Sci.*, vol. 96, no. 8, pp. 2691–2698, 2017.
- [4] R. O. Parker and R. E. Treybal, "The heat, mass transfer characteristics of evaporative coolers," in *Chemical Engineering Progress Symposium Series*, 1959, vol. 57, no. 32, pp. 138–149.
- [5] R. Rahmaniah, A. Akmal, and M. S. Lanto, "Thermal conductivity test value batako," *TEKNOSAINS Media Inf. Sains dan Teknol.*, vol. 9, no. 1, pp. 1–12, 2015.
- [6] S. K. Wang, *Handbook of Air Conditioning and Refrigeration*, 2nd ed. New York, USA: McGraw-Hill Book Company, Inc, 2001.
- [7] E. G. Pita, *Refrigeration Principles and Systems: An Energy Approach*. New York: John Wiley and Sons, Ltd, 1984.
- [8] N. Hudi and M. Dahlan, "Studi manajemen perkandangan ayam broiler di Dusun Wangket Desa Kaliwates Kecamatan Kembangbahu Kabupaten Lamongan," *Ternak*, vol. 02, no. 01, pp. 24–29, 2011.
- [9] "Poultry Housing," *Nature*, vol. 177, no. 4520, p. 1111, 1956.